

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ESKİ RENKLİ FİLMLEDEKİ BOZUKLUKLARI ALGILAMA VE ONARMADA  
KARMA BİR YAKLAŞIM MODELİ**

**DOKTORA TEZİ**

**Elektronik Yük. Müh. Bekir DİZDAROĞLU**

**ARALIK 2006  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ESKİ RENKLİ FİLMLERDEKİ BOZUKLUKLARI ALGILAMA VE ONARMADA  
KARMA BİR YAKLAŞIM MODELİ**

**Elektronik Yük. Müh. Bekir DİZDAROĞLU**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Doktor”  
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.10.2006**

**Tezin Savunma Tarihi : 04.12.2006**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Ali GANGAL**

**Jüri Üyesi : Prof. Dr. İnan GÜLER**

**Jüri Üyesi : Doç. Dr. Temel KAYIKÇIOĞLU**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Murat EKİNCİ**

**Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Adnan CORA**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT**

**Trabzon 2006**

## ÖNSÖZ

Bilimsel ve kültürel mirasının önemli bir bölümü film veya fotoğraf şeklinde arşivlerde saklanmakta; fakat bu kaynaklar, klasik saklama ortamlarında zamanla bozulmalara uğramaktadır. Bu yüzden, arşiv filmlerinin sayısallaştırılarak daha iyi bir video ve ses kalitesinde saklanmasına olanak sağlayabilecek VCD veya DVD gibi sayısal kayıt ortamlarına taşınması ve böylece bozukluk içeren filmlerin sayısal ortamlarda herhangi bir bilgi kaybına uğramadan kolayca onarılabilmesi ve filmin kaydedildiği zamanki kalitesinden daha iyi bir kaliteye de ulaşılabilmesi mümkün olmaktadır. Günümüzde, Avrupa Birliği başta olmak üzere birçok ülkede bu konuyla ilgili proje çalışmaları yürütülmektedir.

Bu çalışmada, sinema filmlerinde leke şeklindeki yerel bozuklukların otomatik olarak algılanması ve düzeltilmesi için karma bir yaklaşım modeli önerilmiş ve yöntemin pratik uygulamasını gerçekleştirmek için Windows tabanlı bir yazılım geliştirilmiştir. Bu tezin, video işleme ve onarma konusunda çalışma yapacak birçok araştırmacıya yararlı olacağı ümidindeyim.

Doktora tez çalışması süresince yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ali GANGAL'a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca bu çalışma boyunca verdikleri cesaret ve desteklerinden dolayı anne-babama da şükranlarımı sunarım.

Bekir DİZDAROĞLU  
Trabzon 2006

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET .....	V
SUMMARY .....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	VII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XV
KISALTMALAR DİZİNİ .....	XIX
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. İmge İçboyama .....	10
1.3. Doku Sentezi.....	19
1.3.1. Örnek-Tabanlı İçboyama Yöntemi .....	20
1.4. Hareket Kestirimi ve Dengelemesi.....	26
1.4.1. Açıklık Sorunu.....	28
1.4.2. Örtme Sorunu .....	28
1.4.3. Düzensizlik ve Hareket Süreksizliği.....	29
1.4.4. Zamansal Süreklilik.....	29
1.4.5. Eski veya Bozukluk İçeren İmge Dizilerindeki Özel Sorunlar .....	30
1.4.6. Kestirim Yöntemleri .....	30
1.4.6.1. Blok Eşleştirme Ölçevleri.....	33
1.4.6.2. Blok Arama Algoritmaları.....	34
1.4.6.3. Kabul Eşiği .....	34
1.5. İmge Dizisi Bozukluklarının Algılanması .....	34
1.5.1. Ani Gürültü Algılama İndisi.....	35
1.5.2. Sıra-Düzenli Farklar .....	38
1.5.3. Morfolojik Algılayıcı.....	38
1.5.4. Markov Rasgele Alanları.....	39
1.5.5. Özbağlanımlı Yöntemler .....	39

1.5.6.	Çizgilerin Algılanması.....	40
1.6.	İmge Dizisi Bozukluklarının Onarılması.....	40
1.6.1.	Ortalama Süzgeçleri .....	41
1.6.2.	Ortanca Süzgeçleri.....	41
1.6.3.	Markov Rasgele Alanları.....	44
1.6.4.	Özbağlanımlı Yöntemler .....	44
1.6.5.	JOMBADI Yöntemi .....	44
1.6.6.	İçboyama Yöntemleri .....	45
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	46
2.1.	Giriş .....	46
2.2.	İmge Dizilerinde Gürültü Azaltma .....	50
2.2.1.	Yerel Olmayan-Ortalamalar Yöntemi .....	50
2.3.	Hareket Kestirimi .....	55
2.3.1.	Karo Arama .....	56
2.3.2.	Öngörücü Karo Arama .....	57
2.3.4.	Sahne Geçişlerinin Algılanması .....	61
2.3.5.	Hareket Vektörü Onarma İşlemleri .....	62
2.4.	İmge Dizilerinde Leke Algılama .....	66
2.5.	İmge Dizilerinde Leke Onarma .....	68
2.5.1.	Zaman-Uzamsal Örnek Tabanlı İçboyama.....	74
3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	79
3.1.	Giriş .....	79
3.1.1.	Yapay Olarak Bozukluk Eklenmiş İmge Dizilerinde Başarım Analizi.....	85
3.1.2.	Gerçek Bozukluk İçeren İmge Dizilerinde Başarım Analizi.....	127
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	136
5.	KAYNAKLAR.....	138
6.	EKLER .....	145
Ek 1.	Hareket Kestirimde MMX Emir Takımı Kullanımı .....	145
	ÖZGEÇMİŞ.....	148

## ÖZET

Eski filmler, uygun olmayan çevre koşulları ve tekrarlanan gösterimlerden dolayı zamanla kalite bakımından bozulmalara uğramaktadır. Toz ve kir başlıca bozukluklardır. Bunlar film yüzeyine yapışır ve leke olarak ortaya çıkarlar. Lekeler, her bir film çerçevesinde rasgele konumlarda olurlar ve genelde ardışık film çerçevelerinde aynı uzamsal konumda bulunmazlar. Dikey çizgiler, projektördeki toz parçacıkları filmi aşındırdığı zaman oluşur. Bu bozukluklar, film çerçevesi yüksekliğinin hemen hemen tamamı kaplarlar ve ardışık film çerçevelerinde neredeyse aynı uzamsal konumda olurlar. Diğer bozukluklar, nemden veya aşırı ısıdan dolayı meydana gelirler.

Sayısal imge dizisi onarma teknikleri genelde üç adımdan oluşmaktadır: Hareket kestirimi, bozukluk algılama ve bozulmuş bölgelerin onarılması. Leke algılaması ve algılanan lekelerin onarılması için, genelde doğru hareket kestirimine ihtiyaç vardır. Bozulmuş piksellerin algılanması, yalnızca bozulmuş pikselleri içeren bölgelerin doldurulması için gerekli bir adımdır. Son olarak, eksik bölgeler onarma yöntemleriyle doldurulur.

Bu tezde, eski renkli sinema filmlerindeki Gauss gürültüsü ve leke gibi yerel bozuklukları algılama ve giderme için otomatik bir onarma algoritması geliştirilmiştir. Önerilen yöntemde, ilk önce Gauss gürültüsü zaman-uzamsal yerel-olmayan ortalamalar algoritmasıyla yok edilmektedir. İkinci olarak, özellikle hatasız bozukluk algılama ve algılanan bozuklukların onarılması için gerekli olan hızlı bir hareket kestirim yöntemi, öngörücü karo arama işleminden sonra, basit bir şekilde renkli imge dizilerine uyarlanabilen AGAİ yöntemiyle lekeler algılanmaktadır. Son olarak ise, algılanan bozuk bölgelerin düzeltilmesi için, varolan örnek-tabanlı içboyama yöntemine dayalı zaman-uzamsal içboyama yöntemleri kullanılmaktadır. Geliştirilen onarma yöntemlerinde eksik bölgelerin doldurulması için doğru hareket kestirimine de gerek duyulmamaktadır. Sonuçlardan da görülebileceği gibi, bozukluk içeren bölgeler genelde başarılı bir şekilde önerilen yöntemle onarılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Leke, Bozukluk, İçboyama, Hareket Kestirimi, Öngörücü Karo Arama, Gürültü Yocketme, Eksik Bölge, Doldurma, Onarma

## SUMMARY

### **A Hybrid Approach Model for Detection and Restoration of Defects in Old Color Films**

Old films are subject to degrade in quality due to bad environmental factors and repeated projection. Dust and dirt are major defects. They adhere to the film surface and appear as blotches. The blotches occur randomly in each frame and do not generally occupy the same spatial location in successive frames. Vertical scratches occur in a frame when the film is abraded by dirt particles in the projector. They occupy the almost full height of the frame and occur in nearly the same spatial place in several frames. Various other defects occur due to water damage or excessive heat.

Digital image sequence restoration techniques are generally classified in three steps: motion estimation, defect detection and restoration of damaged locations. Accurate motion estimation and compensation usually are necessary for detection and correction of detected damages. The detection of which pixels are likely to be damaged is required for filling in only those areas containing damaged pixels. Lastly, the missing areas are filled in by restoration methods.

In this thesis, an automatic restoration algorithm is presented for detection and concealment of local defects such as Gaussian noise and blotches in old color films. Firstly, in the proposed method, Gaussian noise is removed by spatiotemporal non-local means algorithm. Secondly, after predictive diamond search process is a fast motion estimation method, which is required for an accurate defect detection especially and restoration of damaged regions, the defects are detected SDI method which can be simply adapted to detection of defects in color image sequences. Finally, spatiotemporal inpainting methods based on the existing exemplar-based inpainting are used for correction of the damaged regions that are detected. True motion estimation is not required for filling in the missing regions in the proposed restoration methods. The results indicate that the proposed method restores successfully the damaged regions in general.

**Key Words:** Blotch, Defect, Inpainting, Motion Estimation, Predictive Diamond Search, Noise Removal, Missing Region, Filling in, Restoration

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

- Şekil 1.1. (a) Leke ve benek şeklinde bozukluk içeren bir film çerçevesi, Photoshop CS 8.0 paket programındaki (b) iyileştirme fırçası aracı kullanılarak bozuklukların onarılması ve (c) tıpkıyapım damgalama aracı kullanılarak TV logosunun yok edilmesi..... 2
- Şekil 1.2. Bir film imgesinin oluşturulması..... 3
- Şekil 1.3. Film yoğunluğu (gri düzeyli imge) ile pozlandırma arasındaki genel ilişki ..... 4
- Şekil 1.4. Işık girişi ile film yoğunluğu arasındaki ilişki ..... 5
- Şekil 1.5. Film kesiti ..... 6
- Şekil 1.6. Saydam bir film taneciğini siyah metalik gümüşe dönüştürme adımları: (a) Pozlandırılmamış film taneciği, (b-c) pozlandırma süreci ve (d-e) geliştirme süreci..... 7
- Şekil 1.7. Film banyo makinesi ..... 8
- Şekil 1.8. (a) İçboyama işlemi için oluşturulmuş yapay bir imge. İçboyama yapılacak bölge sarı renkli karesel bir alanla işaretlenmiştir, (b) beyaz renkle işaretlenmiş maske imgesi ve (c) düzey çizgilerinin ilerletilmesinin gösterildiği imge ..... 12
- Şekil 1.9. (a) Gerçek imge dizisine eklenen sarı renkle işaretlenmiş yapay bir bozukluk, (b) yapay bozukluk eklenmiş bölgenin büyütülmüş hali ve (c) onarma işleminde kenar bilgisinin (eşit düzey çizgilerinin) ilerletilmesi..... 13
- Şekil 1.10. İçboyama işlemi için oluşturulmuş yapay bir imge. İmgedeki bozuk bölge  $\Omega$ ,  $\delta\Omega$  ve bozukluk içermeyen kaynak bölge de  $\Phi$  ile gösterilmiştir..... 14
- Şekil 1.11. İmgede  $\mathbf{p}$  noktasındaki  $\nabla I$  gradyan vektörü ve bu vektörün 90 derece döndürülmüş hali ..... 14
- Şekil 1.12. (a) İçboyama yapılacak imgedeki doldurulacak bölgenin  $l$  yüksekliğinin  $g$  genişliğinden daha küçük olması durumu ve (b) TD yöntemiyle başarılı bir şekilde doldurma işlemi yapılmış imge, (c) İçboyama yapılacak imgedeki doldurulacak bölgenin yüksekliğinin genişliğinden daha büyük olması durumu ve (d) TD yöntemiyle başarısızlıkla sonuçlanan doldurma işlemi yapılmış imge ..... 15



Şekil 1.13. (a) $\gamma$ eğrisi ve (b) bu eğrinin $\mathbf{p}$ noktasındaki kıvrımının hesaplanması.....	16
Şekil 1.14. Bir imgede $\Gamma$ dar bant bölgesinin oluşturulması. Dar bant bölgesi yeşil renkte gösterilmiştir.....	16
Şekil 1.15. İmgede doldurulacak bölge ile kesişen noktalardaki T- jonksiyonlarının bir doğruyla birleştirilmesi. Birleştirilen doğrular gri renkte gösterilmiştir.....	17
Şekil 1.16. Hızlı düzgün ilerletme yöntemi. $B(r)$ , $\mathbf{p}$ noktası civarında alınan bir parça ve $\mathbf{N}$ yüzeyin normalidir.....	19
Şekil 1.17. Örnek-tabanlı doku senteziyle yapının ilerletilmesi: (a) Çevriti $\partial\Omega$ olan $\Omega$ hedef bölgesi özgün imge ve $\Phi$ kaynak bölgesi, (b) merkezi $\mathbf{p} \in \partial\Omega$ noktasında olan $\Psi(\mathbf{p})$ parçası ile sınırlandırılan alan sentezlensin, (c) kaynak bölgesinde $\Psi(\mathbf{p})$ parçası için kenar boyunca $\Psi(\mathbf{q})$ gibi oldukça benzer aday parçalar vardır, (d) adaylar arasında en iyi eşleştirilen parça $\Psi(\mathbf{p})$ 'in bulunduğu konuma kopyalanır, böylece $\Omega$ hedef bölgesinin bir kısmı doldurulmuş olur.....	22
Şekil 1.18. Yazım çizeneği. $\Psi(\mathbf{p})$ yürürlükteki doldurulacak parça, $\mathbf{n}(\mathbf{p})$ , $\Omega$ hedef bölgesinin $\partial\Omega$ sınırına olan düzgelenmiş normal ve $\nabla^\perp I$ , $\mathbf{p}$ noktasındaki doğrusal yapının yönünü gösteren vektördür.....	22
Şekil 1.19. Açıklık sorunu: Hareket gezingelerinin belirsizliği hareket kestiriminde en önemli problemlerden bir tanesidir. Diğer film çerçevesinde yürürlükteki piksel ile eşleşen bir çok piksel olabilmektedir.....	28
Şekil 1.20. Örtülen ve açılan arkaplan sorunu: Örtülen arkaplan kırmızı renkte, açılan ise mavi renkte gösterilmiştir.....	29
Şekil 1.21. Blok arama yöntemi: Yürürlükteki $L \times L$ imge bloğunun $\mathbf{u} = (u, v)$ hareket vektörü.....	32
Şekil 1.22. Leke algılama yöntemi: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki, (c) sonraki çerçeveler ve (d) ardışık çerçevelerde aynı uzamsal konumdaki bir pikselin yeğlilik değişimi.....	36
Şekil 1.23. ÇD3B çokdüzeyli ortanca süzgeç maskeleri. Destek bölgeleri mavi renkle gösterilmiştir.....	43
Şekil 2.1. Önerilen yöntemin akış şeması.....	49
Şekil 2.2. Yerel olmayan-ortalama yöntem. Benzer komşuluk bölgesi piksellerden $w(\mathbf{p}, \mathbf{q}_1)$ gibi büyük değerli ağırlıklar elde edilirken, çok daha farklı komşuluk bölgelerinden $w(\mathbf{p}, \mathbf{q}_2)$ gibi küçük değerli ağırlıklar elde edilecektir. Yeşil renkle işaretli bölge piksel komşuluk bölgeleri ve sarı renkle işaretli bölge ise kaynak (arama) bölgesidir.....	52

Şekil 2.3.	Yerel olmayan-ortalamalar yönteminde komşuluk bölgeleri: $Q_p$ ve $Q_q$ sırasıyla $\mathbf{p}$ ve $\mathbf{q}$ piksellerinin komşuluk bölgeleri, $L$ bu bölgelerin yarıçapı ve $\Phi$ ise, imgedeki kaynak (arama) bölgesidir.....	53
Şekil 2.4.	Gauss ağırlık süzgeciyle komşuluk bölgelerindeki piksellerin karesel farklarının evriştirilerek $\mathbf{p}$ ve $\mathbf{q}$ pikselleri arasındaki $w(\mathbf{p},\mathbf{q})$ ağırlığının hesaplanması.....	54
Şekil 2.5.	Yerel olmayan ortalamalar yönteminin ardışık çerçevelere uygulanması: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçeveler. Dikkat edilirse yürürlükteki $\mathbf{p}$ pikseli için, bir önceki ve bir sonraki çerçevelerde $\mathbf{q}_2$ ve $\mathbf{q}_3$ gibi oldukça benzer komşuluk bölgeleri bulunmaktadır.....	55
Şekil 2.6.	Karo arama yöntemi: (a) Geniş karo arama modeli ve minimum noktanın (b) arama merkezinde, (c) köşede ve (d) kenarda elde edilmesi durumlarında bir sonraki adıma ilave edilecek arama noktaları.....	58
Şekil 2.7.	MPEG-4 ve H.263 standartlarındaki hareket vektörleri, HV : Yürürlükteki bloğun hareket vektörü, HV1: Bir önceki bloğun hareket vektörü, HV2: Üst bloğun hareket vektörü ve HV3: Üste sağdaki bloğun hareket vektörü ....	58
Şekil 2.8.	Öngörücü karo arama yöntemi: (a) Minimumun öngörüyle aynı olarak bulunamaması ve arama işleminin tekrar yürürlükteki blok merkezine taşınması ve (b) minimumun daha önceden incelenen öngörü etrafında bulunması .....	59
Şekil 2.9.	Alt-piksel doğruluklu iki yönlü aradeğerleme yöntemi.....	61
Şekil 2.10.	Lekeli bölge için hareket vektörünün kestirilmesi: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçeveler .....	63
Şekil 2.11.	Ardışık çerçevelerde hareket vektörlerinin zamansal sürekliliği: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçevelerdeki imge bloğunun hareket vektörleri.....	64
Şekil 2.12.	Kestirilen hareket vektörünün hatalı kestirilip kestirilmediğinin algılanması: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçeveler .....	65
Şekil 2.13.	Bozukluk içeren çerçevelerde hareket kestirimi: (a) Bir önceki onarılmış çerçevede, (b) yürürlükteki onarılacak çerçevede ve (c) bir sonraki onarılacak çerçevelerde hareket vektörlerinin kestirilmesi .....	66
Şekil 2.14.	AGAİa yöntemi: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçevelerde hareket gezinesine bağlı olarak $\mathbf{p}$ noktasındaki pikselinin bozuk olup olmadığının belirlenmesi .....	67
Şekil 2.15.	Bir film çerçevesi: (a) İmgede numaralandırılmış bazı doku bölgeleri ve (b) imgenin geometrik yapısı.....	69

Şekil 2.16. Vektör işlemleri farkı yöntemi: (a) 0°, (b) 45°, (c) 90° ve (d) 135° yönlerindeki alt-pencere düzenlemleri.....	70
Şekil 2.17. İçboyama yöntemleri: (a) Yapay olarak bozukluk eklenmiş Lena test imgesi, (b) maske imgesi, (c) [8]'deki ve (d) [12]'deki içboyama yöntemiyle elde edilmiş onarılmış imge. Yeşil renkle işaretli bölgelerde imge yapısı ve dokusu içboyama bölgesine iyi bir şekilde iletilememiştir..	71
Şekil 2.18. İçboyama yöntemleri: (a) gerçek bozukluk ve TV logosu içeren bir film çerçevesi, (b) maske imgesi, (c) [8]'deki ve (d) [12]'deki içboyama yöntemiyle elde edilmiş onarılmış imgeler. Yeşil renkle işaretli bölgelerde imge dokusu içboyama bölgesine iyi bir şekilde iletilememiştir ..	72
Şekil 2.19. Doku sentezi yöntemi: (a) Özgün doku ve (b) bloklama sorununun giderilmesi için bloklar arası örtüşme değeri 100 piksel alınarak sentezlenmiş çıkış imgesi ..	73
Şekil 2.20. Euler sarmal yöntemi: (a) Özgün imge, (b) yapay lekeli imge ve (c) lekeli bölge tarafından imgenin örtülen kenar bilgisinin Euler sarmal yöntemiyle eğri uydurularak kestirilmesi. Kestirilen eğri yeşil renkle gösterilmiştir ..	74
Şekil 2.21. Gradyan vektörünün saat yönünde 90 derece döndürülmesi.....	75
Şekil 2.22. Hedef bölgede doldurulacak $\Psi(\mathbf{p}_1)$ ve $\Psi(\mathbf{p}_2)$ parçaları: $\Psi(\mathbf{p}_1)$ parçası $\Psi(\mathbf{p}_2)$ parçasına göre kaynak bölgeden daha fazla bilgi içerdiğinden doldurulma sırası $\Psi(\mathbf{p}_2)$ parçasından daha önceliklidir.....	76
Şekil 2.23. Hedef bölgede doldurulacak $\Psi(\mathbf{p}_1)$ ve $\Psi(\mathbf{p}_2)$ parçaları: $\Psi(\mathbf{p}_1)$ parçası $\mathbf{p}_1$ noktasında kenar bilgisi içerdiğinden doldurulma sırası $\Psi(\mathbf{p}_2)$ parçasından daha önceliklidir ..	76
Şekil 2.24. Zaman-uzamsal örnek-tabanlı içboyama yöntemi: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçeveler ..	78
Şekil 3.1. Geliştirilen programın görsel arayüzü: (a) Leke algılama ve (b) Leke onarma ..	79
Şekil 3.2. Geliştirilen yöntemin blok diyagramı.....	80
Şekil 3.3. Test dizileri: "Foreman" dizisinin (a) 20., (b) 239. ve "CoastGuard" dizisinin (c) 20. film çerçeveleri.....	81
Şekil 3.4. Yapay olarak rasgele leke eklenmiş "Foreman" dizisinin (a) 20., (b) 239. ve "CoastGuard" dizisinin (c) 20. film çerçeveleri.....	82
Şekil 3.5. Yapay olarak % 0.1 Gauss gürültüsü ve rasgele leke eklenmiş "Foreman" dizisinin (a) 20., (b) 239. ve "CoastGuard" dizisinin (c) 20. film çerçeveleri..	83

Şekil 3.6.	Yapay olarak % 0.3 Gauss gürültüsü ve rasgele leke eklenmiş "Foreman" dizisinin (a) 20., (b) 239. ve "CoastGuard" dizisinin (c) 20. film çerçeveleri..	84
Şekil 3.7.	Bir TV yayından analog TV kartıyla yakalanmış gerçek leke içeren dizinin 58. film çerçevesi.....	85
Şekil 3.8.	Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemiyle elde edilen % 0.1 Gauss gürültüsü azaltılmış çerçeveler: "Foreman" dizisinin (a) 20., (b) 239. ve "CoastGuard" dizisinin (c) 20. film çerçeveleri.....	86
Şekil 3.9.	Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemiyle elde edilen % 0.3 Gauss gürültüsü azaltılmış çerçeveler: "Foreman" dizisinin (a) 20., (b) 239. ve "CoastGuard" dizisinin (c) 20. film çerçeveleri.....	87
Şekil 3.10.	"Foreman" dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: (a) Özgün çerçevenin, sadece leke eklenmiş çerçevenin (b) onarılmadan önceki ve (c) onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	89
Şekil 3.11.	"Foreman" dizisinin 239. film çerçevesinin hareket vektörleri: (a) Özgün çerçevenin, sadece leke eklenmiş çerçevenin (b) onarılmadan önceki ve (c) onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	90
Şekil 3.12.	"CoastGuard" dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: (a) Özgün çerçevenin, sadece leke eklenmiş çerçevenin (b) onarılmadan önceki ve (c) onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	91
Şekil 3.13.	% 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	92
Şekil 3.14.	% 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinin 239. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	93
Şekil 3.15.	% 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "CoastGuard" dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	94
Şekil 3.16.	% 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	95

Şekil 3.17. % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinin 239. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	96
Şekil 3.18. % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "CoastGuard" dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri.....	97
Şekil 3.19. AGAİa yöntemiyle "Foreman" dizisinde (a) sadece leke, (b) % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke ve (c) % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklenmiş 20. film çerçevesindeki algılanan lekeler.....	99
Şekil 3.20. AGAİa yöntemiyle "Foreman" dizisinde (a) sadece leke, (b) yapay bozukluklar eklendikten sonra % 0.1 Gauss gürültüsü ve (c) % 0.3 Gauss gürültüsü azaltılmış 239. film çerçevesindeki algılanan lekeler.....	100
Şekil 3.21. AGAİa yöntemiyle "CoastGuard" dizisinde (a) sadece leke, (b) yapay bozukluklar eklendikten sonra % 0.1 Gauss gürültüsü ve (c) % 0.3 Gauss gürültüsü azaltılmış 20. film çerçevesindeki algılanan lekeler.....	101
Şekil 3.22. Özgün ve sadece leke eklenmiş "Foreman" dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği.....	103
Şekil 3.23. Özgün ve % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği .....	103
Şekil 3.24. Özgün ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği .....	104
Şekil 3.25. Özgün ve sadece leke eklenmiş "Foreman" dizisinde 223 ile 240. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği.....	104
Şekil 3.26. Özgün ve % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinde 223 ile 240. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği.....	105
Şekil 3.27. Özgün ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinde 223 ile 240. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği.....	105
Şekil 3.28. Özgün ve sadece leke eklenmiş "CoastGuard" dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği.....	106

Şekil 3.29. Özgün ve % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "CoastGuard" dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği.....	106
Şekil 3.30. Özgün ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "CoastGuard" dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği.....	107
Şekil 3.31. Özgün "Foreman" dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma.....	109
Şekil 3.32. Özgün "Foreman" dizisinin onarılmış 239. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma.....	111
Şekil 3.33. Özgün "CoastGuard" dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma.....	113
Şekil 3.34. % 0.1 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma.....	115
Şekil 3.35. % 0.1 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinin onarılmış 239. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma.....	117
Şekil 3.36. % 0.1 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "CoastGuard" dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) Zaman-uzamsal onarma ....	119
Şekil 3.37. % 0.3 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma.....	121
Şekil 3.38. % 0.3 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "Foreman" dizisinin onarılmış 239. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma.....	123
Şekil 3.39. % 0.3 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış "CoastGuard" dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma.....	125
Şekil 3.40. Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalama yöntemleriyle elde edilen gürültüsü azaltılmış gerçek bozukluk içeren dizinin 58. film çerçevesi.....	127

- Şekil 3.41. Gerçek bozukluk içeren dizinin 58. film çerçevesinin hareket vektörleri: Lekeli bölgelerde (a) onarılmadan elde edilen hareket vektörü ve (b) hareket vektörü onarma modülü ile onarılarak elde edilen hareket vektörü .. 128
- Şekil 3.42. Gürültüsü azaltılmış gerçek bozukluk içeren dizinin 58. film çerçevesinin hareket vektörleri: Lekeli bölgelerde (a) onarılmadan elde edilen hareket vektörü ve (b) hareket vektörü onarma modülü ile onarılarak elde edilen hareket vektörü ..... 129
- Şekil 3.43. Gerçek bozukluk içeren dizide AGAİa yöntemiyle 58. film çerçevesindeki algılanan lekeler: (a) Özgün film çerçevesi ve (b) Gürültüsü azaltılmış film çerçevesi ..... 130
- Şekil 3.44. Gerçek bozukluk içeren dizisinde onarılmış 58. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) zaman-uzamsal arama ve (c) zaman-uzamsal onarma... 131
- Şekil 3.45. Gürültüsü azaltılmış gerçek bozukluk içeren dizisinde onarılmış 58. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) zaman-uzamsal arama ve (c) zaman-uzamsal onarma ..... 133

## SEMBOLLER DİZİNİ

$a$	: Pozitif değerli bir ağırlık katsayısı
$A$	: İkili leke algılama maskesi
$b$	: Pozitif değerli bir ağırlık katsayısı
$B$	: İmge tanım bölgesi
$B_r$	: Yarıçapı $r$ olan dairesel bir imge bölgesi
$c$	: Vektör boyutu
$C$	: Güven terimi
$d$	: Uzaklık ölçevi
$ds$	: Eğri parçası uzunluğu
$dt$	: $t$ yönündeki yerdeğiştirme
$dx$	: $x$ yönündeki yerdeğiştirme
$dy$	: $y$ yönündeki yerdeğiştirme
$D$	: Veri terimi
$E$	: Enerji
$f$	: Fonksiyon
$g$	: İmge parçası genişliği
$G_a$	: Standart sapması $a$ olan iki boyutlu bir Gauss ağırlık süzgeci
$h_1$	: Geri yöndeki mutlak hata
$h_2$	: İleri yöndeki mutlak hata
$h_g$	: Geri yöndeki hata
$h_i$	: İleri yöndeki hata
$h_t$	: Hata eşiği
$i$	: Genel amaçlı kullanılan üst veya alt indis
$I$	: Vektör-değerli (renkli) imge
$\tilde{I}$	: Süzgeç çıkışından elde edilen vektör-değerli imge
$I$	: Gri düzeyli imge
$\tilde{I}$	: Süzgeç çıkışından elde edilen gri düzeyli imge



$\hat{I}$	: Hareket dengelenmiş gri düzeyli imge
$I^i$	: Gri düzeyli $i$ . içboyama imgesi
$I_0$	: Kaynak bölgesindeki gri düzeyli imge verisi
$I_t$	: Gri düzeyli imgenin zamansal konumdaki gradyan değeri (türevi)
$I_x$	: Gri düzeyli imgenin $x$ yönündeki gradyan değeri (türevi)
$I_y$	: Gri düzeyli imgenin $y$ yönündeki gradyan değeri (türevi)
$I_i$	: İmge kanalı (imgenin $i$ . vektör kanalı)
$j$	: Genel amaçlı kullanılan alt indis
$J$	: Yerel olmayan-ortalamalar yönteminde düzgeleme sabiti
$k$	: İmge blok boyutu
$l$	: İmge parçası yüksekliği
$L$	: Arama uzaklığı
$M$	: Ortanca değer
$n_x$	: Gri düzeyli imge maskesinin $x$ yönündeki gradyan değeri (türevi)
$n_y$	: Gri düzeyli imge maskesinin $y$ yönündeki gradyan değeri (türevi)
$\mathbf{n}$	: Yüzeyin düzelenmiş normal
$N$	: Tamsayılar
$\mathbf{N}$	: Yüzeyin normal
$\mathbf{p}$	: Hedef bölgede zaman-uzamsal konum
$\hat{\mathbf{p}}$	: Hedef bölgede kestirilen zaman-uzamsal konum
$P$	: Parça önceliği
$\mathbf{q}$	: Kaynak bölgede zaman-uzamsal konum
$\hat{\mathbf{q}}$	: Kaynak bölgede kestirilen zaman-uzamsal konum
$Q$	: Komşuluk bölgesi
$r$	: Yarıçap
$s$	: Ana uzay boyutu
$t$	: Zaman boyutu
$t_1$	: Kontrol eşiği
$t_s$	: Algılama kontrol eşiği

$T$	: AGAİ <sub>a</sub> yönteminde kullanılan ön tanımlı bir eşik
$T_1$	: Sahne geçişi algılamasında kullanılan ön tanımlı bir eşik
$T_2$	: Sahne geçişi algılamasında kullanılan ön tanımlı bir eşik
$\mathbf{T}$	: Uzaklık eşlemi
$u$	: $x$ yönündeki hareket vektörü
$v$	: $y$ yönündeki hareket vektörü
$u_a$	: Bir çerçeve atlamalı $x$ yönündeki hareket vektörü
$v_a$	: Bir çerçeve atlamalı $y$ yönündeki hareket vektörü
$\mathbf{u}$	: Hareket vektörü
$\mathbf{u}_a$	: Bir çerçeve atlamalı hareket vektörü
$w$	: Ağırlık fonksiyonu
$W$	: Pencere boyutu
$x$	: $x$ koordinatı
$y$	: $y$ kordinatı
$Y$	: Özgün imge
$Z$	: Bozuk bölgedeki imge pikseli
$\alpha$	: Düzgeleme faktörü
$\partial\Omega$	: Hedef bölge sınırı (çevriti)
$\Delta I$	: İmge düzgünlük kestiricisi
$\Delta t$	: Düzleştirme oranı
$\varepsilon$	: Hata terimi
$\frac{\partial I}{\partial x}$	: Gri düzeyli imgenin $x$ yönündeki gradyan değeri (türevi)
$\frac{\partial I}{\partial y}$	: Gri düzeyli imgenin $y$ yönündeki gradyan değeri (türevi)
$\frac{\partial I}{\partial t}$	: Gri düzeyli imgenin zamansal konumdaki gradyan değeri (türevi)
$\gamma$	: Eğri parçası
$\sigma$	: Standart sapma
$\lambda$	: Dar bant bölgesinde pozitif, diğer yerlerde sıfır değerli bir sayı
$\Phi$	: Kaynak bölge
$\kappa$	: İmgenin yerel eşit düzey çizgileri kıvrımı

$\Gamma$	: Dar bant bölgesi
$\Omega$	: İçboyyama yapılacak imge bölgesi (hedef bölge, içboyyama bölgesi)
$\Psi$	: İmge parçası
$\mathfrak{R}$	: Sürekli uzay
$\nabla I$	: İmge gradyan vektörü
$\nabla^{\perp} I$	: İmge gradyan vektörünün 90 derece döndürülmüş hali
$\hbar$	: Üstel azalma kontrol parametresi
$\ell$	: Komşuluk bölgesindeki uzamsal konum
$ \cdot $	: Genlik
$\ \cdot\ _1$	: Vektör-değerli pikseller arasındaki mutlak fark
$\ \cdot\ _2$	: Vektör-değerli pikseller arasındaki karesel fark

## KISALTMALAR DİZİNİ

AGAİ	: Hareket kestirimli ani gürültü algılama indisi
AGAİ <sub>a</sub>	: Hatalı hareket kestiriminden fazla etkilenmeyen ani gürültü algılama indisi
AGAİ <sub>p</sub>	: Hata farklarının işaretini de dikkate alan hareket kestirimli ani gürültü algılama indisi
AVI	: Audio Visual Interleaved (Serpıştirmeli Sesli-Görsel Video)
B	: RGB renk modelinde mavi renk bileşeni (kanalı)
ÇD3B	: Çok düzeyli 3 boyutlu ortanca süzgeç
DOKH	: Düzgelenmiş ortalama kare hata
DVD	: Digital Video Disc (Sayısal Video Disk)
G	: RGB renk modelinde yeşil renk bileşeni (kanalı)
HV	: Hareket vektörünün uzunluğu
JOMBADI	: Joint Model Based Detection and Interpolation (Algılamaya ve Aradeğerlemeye Dayalı Birleşik Yöntem)
KA	: Karo arama
MFC	: Microsoft Foundation Classes (Microsoft Temel Sınıfları)
MMX	: Multimedia Extensions (Çokluortamlı Eklentiler)
MPEG	: Moving Picture Expert Group (Hareketli Film Uzman Grubu)
OKH	: Ortalama kare hata
OMF	: Ortalama mutlak fark
Ortanca	: Ortanca süzgeç
ÖKA	: Öngörücü karo arama
PAL	: Phase Alternate Line (Faz Almaşlı Satır)
R	: RGB renk modelinde kırmızı renk bileşeni (kanalı)
RGB	: Vektör değerli imgenin Kırmızı, Yeşil ve Mavi renk bileşenleri
SDF	: Sıra-düzenli fark
SDI	: Spike Detection Index (Ani Gürültü Algılama İndisi)
SIMD	: Single Instruction Multiple Data (Tek Komut Çok Veri)

TA	: Tam arama
TD	: Toplam değişim
TV	: Televizyon
U	: YUV renk modelinde renk bileşeni
V	: YUV renk modelinde renk bileşeni
VCD	: Video Compact Disc (Video Yoğun Disk)
Y	: YUV renk modelinde ışıklılık (parlaklık) bileşeni
YUV	: Vektör değerli imgenin parlaklık ve renk bileşenleri

## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

İnsanoğlu ilk çağlardan beri sonraki kuşaklara kültürel mirasını bir şekilde aktarmaya çalışmıştır. Bu 30 bin yıl önce Fransa'da mağara adamı figürleri ile başlamış, eski çağlarda papirüslere ya da taş duvarlara yapılan resimlerle devam etmiş ve mabet ve tapınaklarda kullanılan kutsal kitaplara çizilen bazı işaretlerle süre gelmiştir. 19. yüzyılda Daguerre ve Niepce'in fotoğrafı buluşuyla imge işleme alanında büyük bir devrim yaşanmıştır. Sayısallaştırılmış resimler kullanılmaya başlamadan önce, resimler kağıt, selüloit veya benzer materyaller üzerine basılıyordu. Bu malzemeler ışığa fazla maruz kalmalarından dolayı zamanla ağarmakta ya da kimyasal bozulmalar sebebiyle kaçınılmaz bir şekilde kalite kaybına uğramaktadır. Günümüzde VCD ve DVD gibi birçok sayısal medya saklama araçları geliştirildiğinden, eski fotoğraf ve filmler sayısallaştırılarak koruma altına alınmakta ve ayrıca sayısallaştırılmış bu bilgiler hem daha kolay hem de daha ucuza saklanabilmekte, araştırılabilmekte, yeniden kullanılabilmekte ve dağıtılabilmektedir.

Sayısallaştırma aşamasında eski fotoğraf veya filmdeki bozuklukların bazılarını düzeltmek, onarmak veya fotoğraf ve film kalitesini en iyi hale getirmek için bir veya birden fazla ön ve art işlem adımları uygulanmaktadır. Bu işlemlerde kullanılan ve genelde varolan piksel değerleri üzerinde işlem yapan standart süzgeçlerden bazıları, parlaklık, renk düzeltme, netlik ve gürültü azaltmadır. Fakat imgenin büyük bir kısmı kayıp ya da imge bozuk bölgeler içeriyorsa, bu tür süzgeçler kullanılarak imge onarılamaz. Bu durumda, kayıp bilgiyi yeniden oluşturmak için yeni bir süzgeç çeşidine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kayıplı alanları doldurma işlemi için günümüzde oldukça revaçta olan sayısal içboyama yöntemi kullanılmaktadır [1].

Ticari amaçlı birçok imge işleme yazılımlarında, el ile sayısal içboyama işlemi yapmak için birçok onarma araçları geliştirilmiştir. Adobe Photoshop CS 8.0 paket programının tıpkıyapım damgalama, iyileştirme fırçası, örüntü damgalama ve parça (yama) araçları, GIMP 2.2'nin ise tıpkıyapım aracı sayısal resim onarma işleminde kullanılmaktadır. Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, bu araçlar yardımıyla kullanıcının kaynak

bölgeden seçerek belirlediği bir imge parçası, doldurulacak bölgenin etrafındaki bozukluk içermeyen piksellerle yumuşak bir geçişle düzleştirme yapılarak bozuk bölgeye kopyalanır. Fakat onarma işlemleri otomatik değil de, klavye tuşları ve fare kullanılarak el ile yapıldığından fazla zaman alabilmektedir. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için bozuk bölgelerin doldurulması işlemini otomatik olarak yapan birçok içboyama yöntemleri geliştirilmiştir [1]. Fakat bir imgedeki bozuk bölgelerin herhangi bir yazılım ile otomatik olarak algılanması oldukça zor olmasına rağmen, bazı kısıtlamalar çerçevesinde, örneğin sadece mürekkep lekelerini algılanması gibi, yöntemler geliştirilmiştir [2].



(a)

(b)

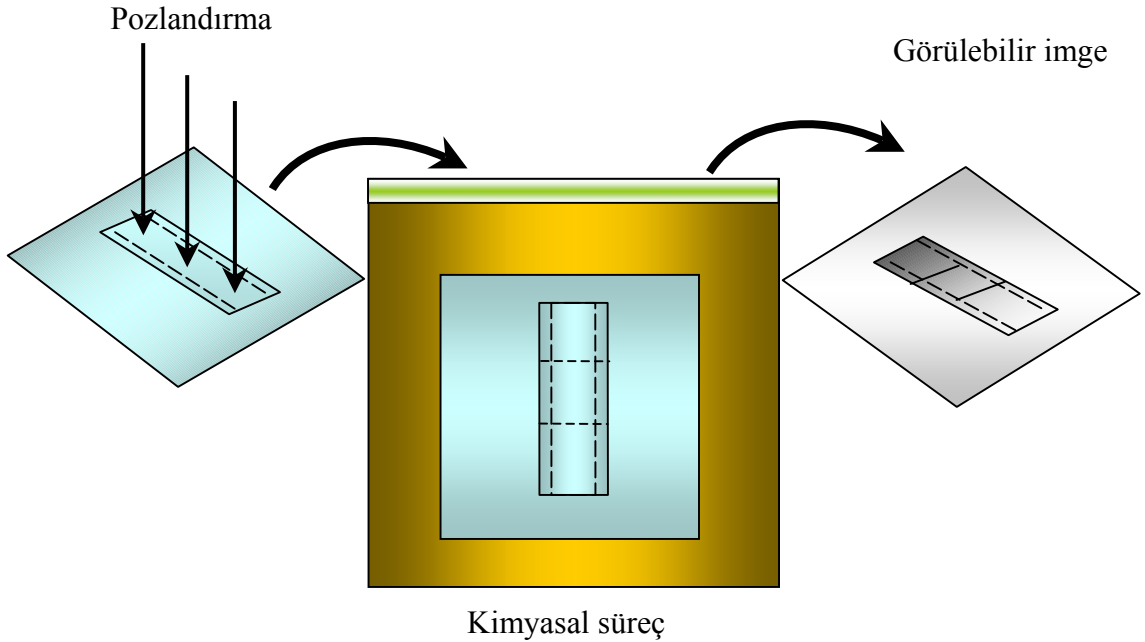


(c)

Şekil 1.1. (a) Leke ve benek şeklinde bozukluk içeren bir film çerçevesi, Photoshop CS 8.0 paket programındaki (b) iyileştirme fırçası aracı kullanılarak bozuklukların onarılması ve (c) tıpkıyapım damgalama aracı kullanılarak TV logosunun yok edilmesi

Filmler, uygun saklama koşullarında bozulmaya uğramadan uzun süreli olarak korunabilir. Arşivlerde çok fazla miktarda film olmasından dolayı, bunlara kolay bir şekilde erişilememektedir. Bu yüzden, çoğu arşiv filmleri günümüzde sayısallaştırılmış imge ortamlarına aktarılmaktadır.

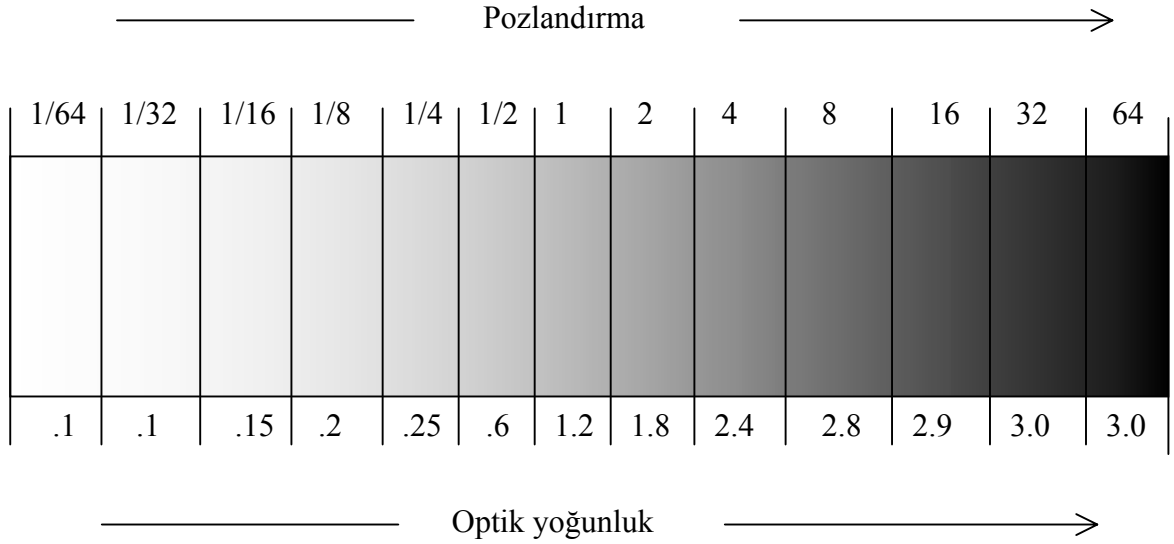
Film, ışık huzmelerinden oluşan imgenin elde edilmesi için üzerine gümüş bromür, gümüş klorür ve gümüş iyodür gibi ışığa duyarlı bileşenler sürülmüş madde içeren saydam bir yüzeye sahiptir. Filmler, pozlandırılmış alan içerisindeki aydınlık ve karanlık bölgelerin farklarını ortaya çıkaracak kimyasallarla banyo edilir. Filmin etkin katmanı, saydam taban malzemesi üzerine radyasyon-duyarlı kristallerle kaplanmış bir asıttır. Görülebilir imge iki işlem adımdan sonra elde edilir (Şekil 1.2). İlk önce, film radyasyona, genellikle ışığa maruz bırakılır ve böylece asıtlı katmanı etkinleştirilmiş olur; fakat filmde görünür bir değişiklik meydana gelmez. Pozlandırma işlemiyle sözde gizil bir imge oluşturulur. İkinci adımda, pozlandırılmış film, görünmeyen gizil imgeyi farklı optik yoğunluklu veya gri düzeyli görülebilir bir imgeye dönüştürme işlemini gerçekleştirecek bir dizi kimyasal işlemlerden geçirilir. Filmin yoğunluğu veya keskinliği pozlama süresine bağlı olarak artar veya azalır (Şekil 1.3).



Şekil 1.2. Bir film imgesinin oluşturulması



Aslında film bir imge dönüştürücüdür. Başka bir ifadeyle, radyasyonu, tipik olarak ışığı, farklı gri düzeyli veya optik yoğunluklu değerlere dönüştürür ve böylece kaydedilmiş bir imge elde edilmiş olur. Yani, pozlandırma işlemiyle kalıcı bir imge oluşturulmuş olur. Gerekli pozlama süresi filmin hızına veya duyarlılığına bağlı olarak değişebilir. Film hızı arttıkça ışık ihtiyacı ve buna bağlı olarak pozlama süresi azalır. İmgeyi oluşturan gümüş tanecikleri büyür ve fotoğraf baskısındaki keskinlik de azalmış olur. Film hızı azaldıkça ışık gereksinimi artar, pozlama süresi uzar ve tanecikler de küçülür. Yüksek duyarlı (hızlı) film pozlama süresini azaltırken, kuantum gürültüsünden dolayı imge kalitesinde düşüş meydana gelir.



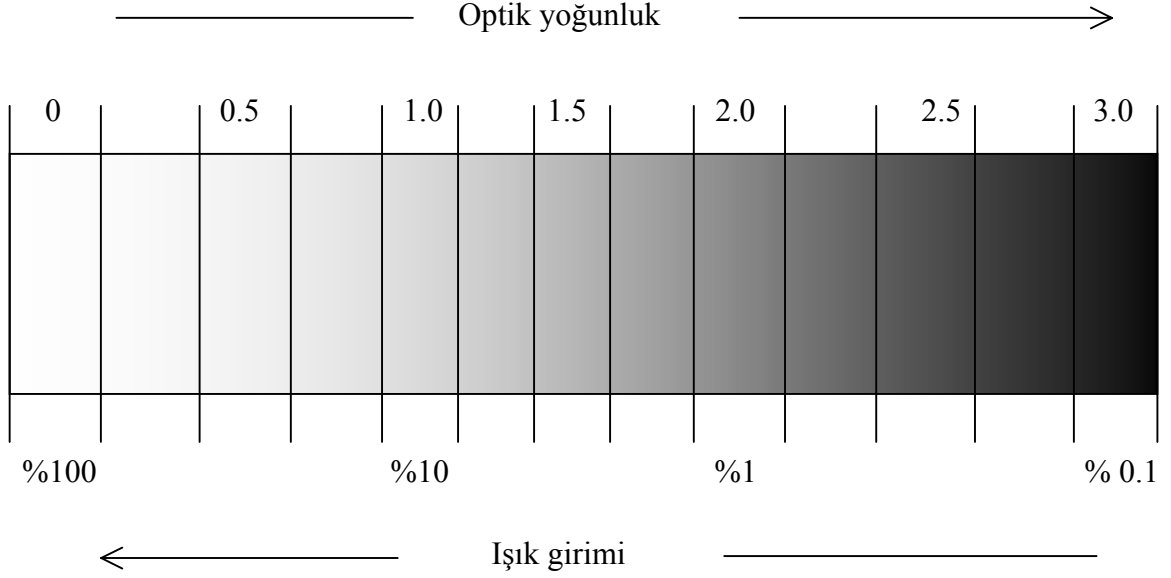
Şekil 1.3. Film yoğunluğu (gri düzeyli imge) ile pozlandırma arasındaki genel ilişki

Optik yoğunluk, saydam bir filmin karanlığı veya donukluğu olarak tanımlanabilir ve filmin pozlandırılmasından sonra bir dizi kimyasal işlemler sonucunda üretilir. Herhangi bir film imgesi farklı gri düzeyde görülebilen değişken yoğunluklu alanlar içerir.

Filmin optik yoğunluğuna, gizil filmde geçirilen ışık miktarına bağlı olarak sayısal değerler atanır. Film yoğunluğu arttıkça ışık girimleri azalır (Şekil 1.4). Işık girimleri ile yoğunluk değerleri arasında üstel bir ilişki vardır.

Film yoğunluğu yoğunlukölçer ile ölçülür. Bir ışık kaynağıyla ölçülecek film bölgesinden küçük bir ışık huzmesi geçirilir. Filmin diğer tarafında bir ışık algılayıcısı

(fotosel) girmişen ışığı elektrik işaretiine dönüştürür. Özel bir devre, işareti logaritmik bir değere dönüştürür ve sonuçları yoğunluk birimlerinde gösterir.

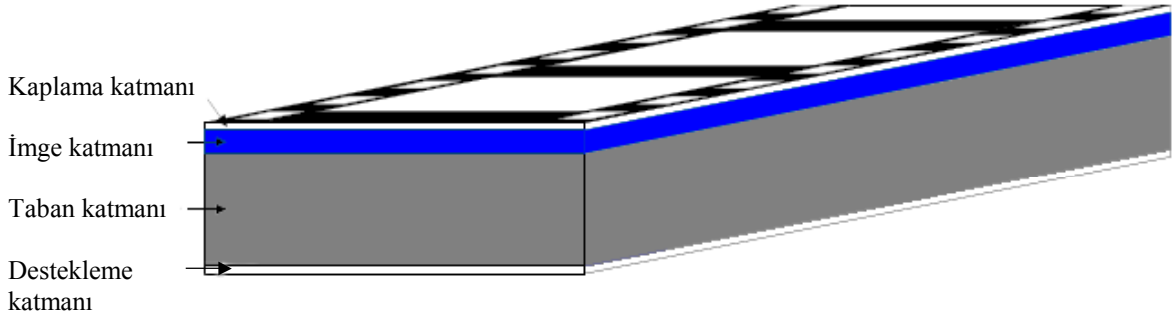


Şekil 1.4. Işık giriimi ile film yoğunluğu arasındaki ilişki

Özellikle 35 mm'lik filmler kullanılarak canlı ve hareketli imge dizileri oldukça kaliteli bir şekilde kaydedilebilmektedir. Çünkü bu filmler, yüksek çözünürlük kalitesi sunmasının yanında, herhangi bir sahnede imge yapısının ve dokusunun iyi bir renk kalitesiyle gösterilmesine de olanak sağlamaktadır. TV yayınlarında kullanılmak üzere çoğu program ve belgeseller de film olarak kaydedilmektedir. Fakat bunlar, genelde saniyede 24 çerçeve içermektedir. Programın tipi ve periyoduna bağlı olarak film belgeleri, 35 mm veya 16 mm biçiminde olabilmektedir. Filmdeki bozuklukların nasıl oluştuğunu tam olarak anlayabilmek için film yapısının da bilinmesi gerekmektedir. Hareketli imge filmleri, çok farklı ve karmaşık katmanlardan ve bileşenlerden oluşmasına rağmen, bu katmanlar genel olarak aşağıda gibi sınıflandırılabilir (Şekil 1.5):

- Kaplama katmanı: Filmin çizilmesini ve yıpranmasını önlemek için ince bir jelatin tabakası içerir.
- İmge katmanı: Jelatinin içersinde ışığa duyarlı asıltı katmanı vardır. Bu katman, siyah ve beyaz filmlerde gümüş taneciklerinden, renkli filmlerde renk-duyarlı ardışık katmanlardan meydana gelir.

- Taban katmanı: Filmler, ilk önceleri selüloz nitrat bazlı kimyasal malzemelerden imal ediliyordu; fakat bu tip filmlerin üretimi 1950 yıllarında durdurulmuştur. Çünkü bu tür kimyasal malzemelerden imal edilen filmler çabucak bozulmaktaydı. Bu yüzden filmler, selüloz asetat ve son zamanlarda da polyester bazlı malzemeler kullanılarak üretilmeye başlanmıştır.
- Destekleme katmanı: Filmi, nemden (rutubetten) ve ışık yansımalarından korur.

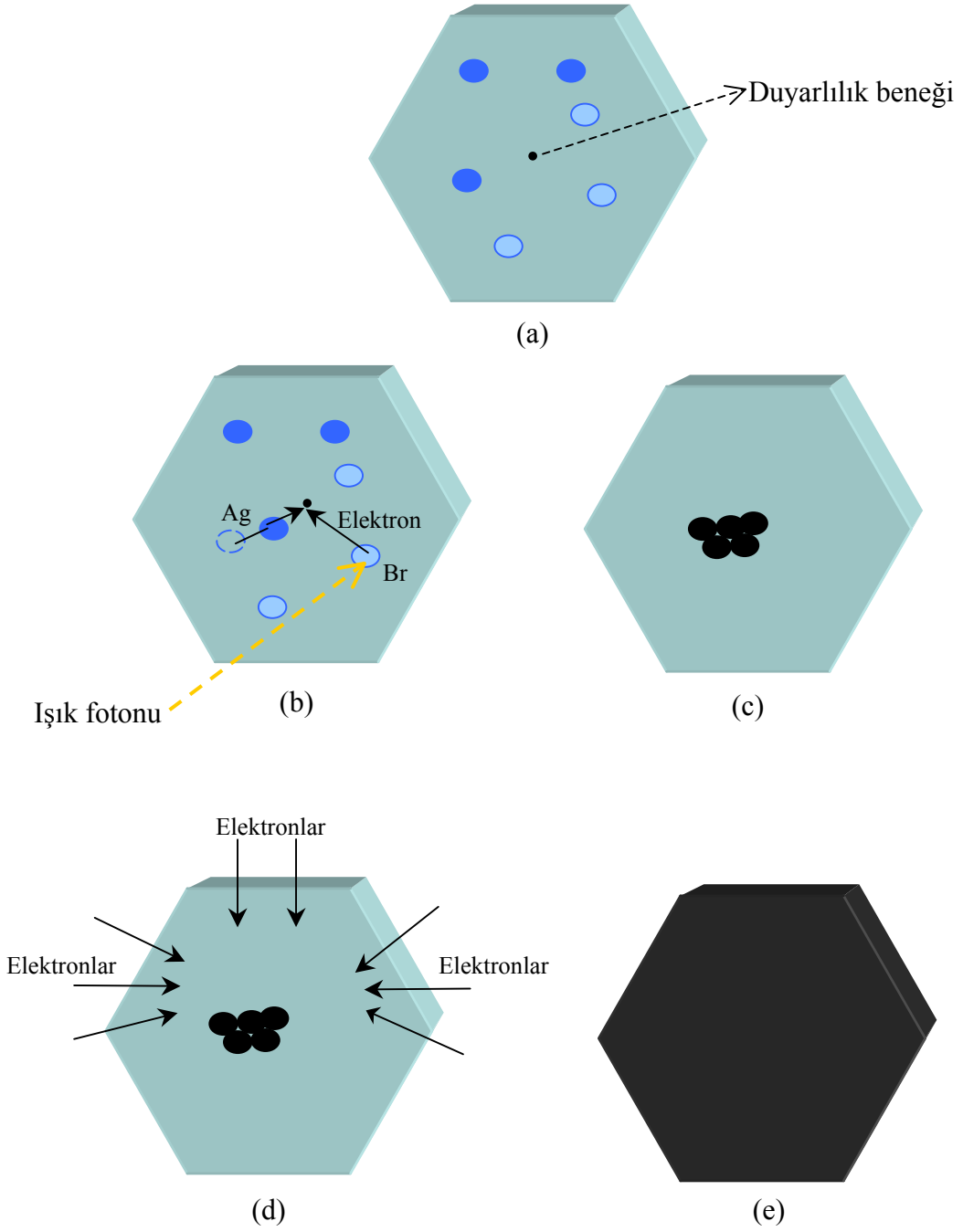


Şekil 1.5. Film kesiti

Film yoğunluğunun üretimi ve görülebilir bir imgenin elde edilmesi için iki işlem adımının uygulanması gerekir. Fotoğraflama işlemindeki ilk adım, filmin ışığa maruz bırakılması ve böylece görünmeyen gizil bir imgenin elde edilmesidir. İkinci adım, gizil imgenin farklı yoğunluklu veya gri düzeyli görünebilir bir imgeye dönüştürülme işlemi olan kimyasal süreçtir.

Film yoğunluğu, gümüş iyonlarının metalik gümüşlere dönüştürülmesiyle üretilir, böylece her bir işlenmiş tanecik siyaha dönüştürülmüş olur (Şekil 1.6). Her bir film taneciği çok sayıda hem gümüş hem de bromür iyonları içerir. Gümüş iyonları pozitif yüklüdür. Diğer taraftan bromür iyonları negatif yüke sahiptir; çünkü fazladan bir elektron içerirler. Her bir tanecik duyarlı bir benek olarak bilinen yapısal bir lekeye sahiptir. Bir film taneciği bu aşamada göreceli olarak saydamdır.

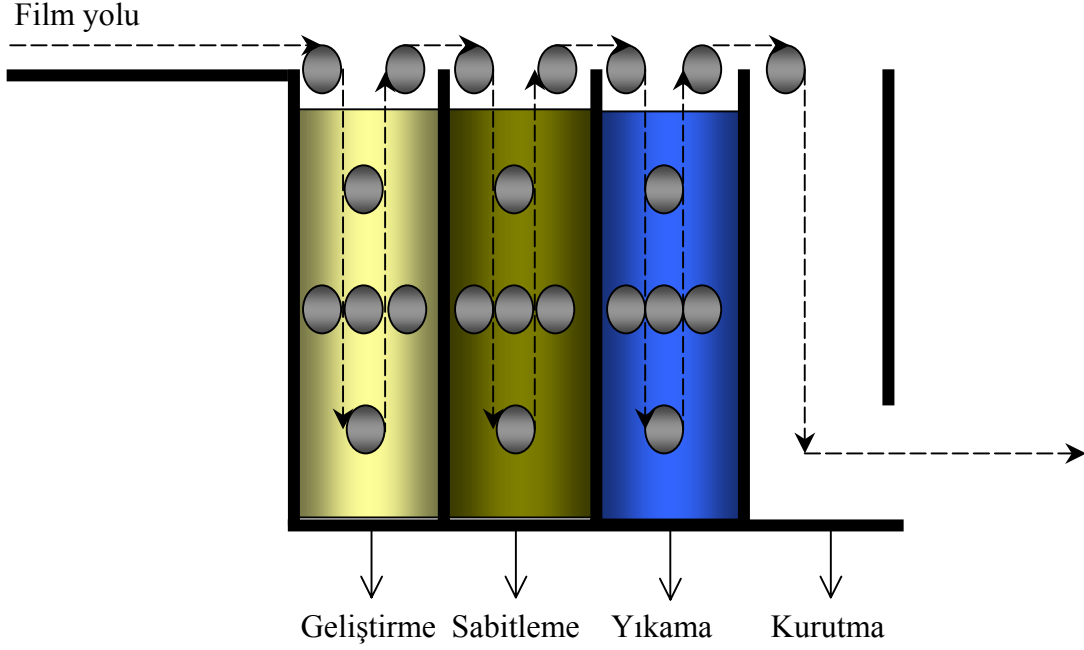
Görünmez gizil imge kimyasal geliştirme süreciyle görünebilir bir imgeye çevrilir. Film banyosu ilacı (geliştirici), duyarlaştırılmış taneciklerinin taşınması ve diğer gümüş iyonlarının siyah metalik gümüşlere dönüştürülmesi için elektronları besler. Böylece asıltıdaki tanecikler görünür siyah beneklere dönüşür.



Şekil 1.6. Saydam bir film taneciğini siyah metalik gümüşe dönüştürme adımları: (a) Pozlandırılmamış film taneciği, (b-c) pozlandırma süreci ve (d-e) geliştirme süreci

Siyah-beyaz filmler banyo edilirken öncelikle bir ön yıkamadan geçilir. Böylece film asıltısı sulandırılmış olur ve kimyasallar daha çabuk etki eder. Film banyosu ilacı ile film üzerinde kalması muhtemel hava kabarcıkları uzaklaştırılmış olur ve gizil imge filmin üzerinde oluşur. Geliştirme işleminden sonra durdurma işlemi yapılır. Bunun için sitrik asit

kullanılabilir. Işıktan etkilenmemiş gümüş tuzlarının filmde atılması işlemi sabitleyici ile yapılır. Daha sonra, yıkama işlemiyle yüzey gerilimi değiştirilerek filmin üzerindeki su damlalarının daha kolay uzaklaştırılması sağlanmış olur. Böylece beyaz damla izleri de ortadan kaldırılmış olur. Yıkamadan sonra, son adım olan kurutma işlemine geçilir (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Film banyo makinesi

Filmi saklama, işleme ve banyo etme aşamalarında filmde çeşitli bozukluklar meydana gelebilmektedir.

Eski sinema veya televizyon filmlerinde insan gözünü rahatsız edici bozukluklara sıkça rastlanır. Bu bozukluklar, ekranda anlık olarak belirip kaybolan leke ve pırıltılar, dikey yönde uzun süreli titreyen çizgiler, bulanık ve soluk renkli, titreyen ve kırpışan film çerçeveleri gibi değişik biçimlerde olabilmektedir. Filmlerdeki bozuklukların çoğu sayısal video onarma teknikleriyle azaltılabilir ve filmlerin üretildiği zamandaki kalitesinden daha iyi bir kaliteye ulaşılabilir.

Hareketli imge filmlerinde çoğu bozulmalar çevresel faktörler yüzünden olmaktadır. Toz ve küf kaydedilmiş filmlerin üzerine birikebilir ve filmin birkaç defa kullanılması sonucu film yüzeyinde çiziklerin oluşmasına yol açabilir. Film uygun koşullarda gerektiği

gibi saklanmadığı takdirde filmin imge katmanı bozulmalara uğrayabilir. Bütün bu bozulma etkileri film seyredilirken görülebilir ve seyircilerin dikkatini dağıtabilir.

Filmdeki bozukluklar aşağıda belirtilen biçimlerde olabilir:

Toz, küf ve diğer yabancı maddeler filmin yüzeyine yapışır ve koyu çizgi ya da leke şeklinde görünür. Film negatifindeki çizikler ve bazı parlak lekeler film basıldığında koyu bir şekilde görünürler.

Filmdeki çizikler, parlak çizgilerin ya da beneklerin oluşmasına sebep olur. Film negatifindeki kirli veya koyu lekeler film basıldığı zaman parlak bir şekilde görünür.

Film projektöründeki kirli parçacıklar, film gösterilirken uzun düşey çizgilerin oluşmasına sebep olabilir. Bu parçacıklar film negatifinin ya da basılmış filmin zarar görüp görmemesine bağlı olarak parlak ya da koyu bir şekilde görülebilir.

İmge katmanındaki bazı bozulmalardan dolayı filmde tanecik gürültüsü oluşabilir. Bu bozulmalar boyut olarak genelde yalnızca bir piksel genişliğindedir ve dürtü gürültüsü şeklinde modellenebilir.

Diğer bozulmalar nemden, aşırı sıcaktan ya da çevresel faktörlerden dolayı meydana gelir.

Film oluşturulurken ortaya çıkan ve imgenin bir parçası haline gelmiş olan baskısı yapılmış filmdeki leke ile film yüzeyine yapışmış gerçek leke arasındaki farkı iyi ayırt etmek gerekir. Her ikisi de film seyredilirken görünür, fakat gerçek leke temizlenerek silinebilirken baskısı yapılmış filmdeki leke silinemez. Çiziklerin yok edilmesi, bu bozuklukların filmin taban katmanında ya da gerçek imge bilgisini içeren imge katmanında olup olmaması durumuna bağlı olarak değişmektedir [3]. Taban katmanındaki çizikler yok edilebilirken imge katmanındaki bozulmalar imge bilgisine zarar verdiği için dolayı yok edilemeyebilir.

Filmdeki bozuklukların etkisini ortadan kaldırmak ya da yok etmek için bozuklukların ayırt edici özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Dikey yöndeki uzun çizgiler dışında, filmdeki bozuk bölgeler her bir film çerçevesinde genelde farklı uzamsal konumlarda görünür. Örneğin yürürlükteki film çerçevesindeki bozulmuş bir piksel, bir önceki veya bir sonraki film çerçevelerinde nadiren aynı uzamsal konumda bozulmuş olarak ortaya çıkar. Leke ve pırıltı şeklindeki yerel bozulmalar, genellikle dizideki zamansal kopuklukları değerlendiren leke algılama teknikleriyle belirlenirler.

Dikey uzun çizgilerin özel bir durumu söz konusudur, çünkü peş peşe birçok film çerçevesinde genellikle aynı uzamsal konumda görünürler. Bu tür bozukluklar, diğer film

bozukluklarını yok etmek için kullanılan yöntemlerle onarılamaz. Bu durumda, birkaç piksel genişliğinde olan, dikey yönde yukarıdan aşağıya doğru film çerçevesinin tamamını kaplayan ve komşu film çerçevelerinde de yaklaşık olarak aynı uzamsal konumda görülebilen çizgi bozuklukları için [4] ve [5]'deki çizgi algılama ve onarma yöntemleri kullanılabilir.

Diğer film bozuklukları filmin zarar görmesi ya da hatalı kullanılmasından kaynaklanabilir. Bunlar, renkli ve siyah-beyaz filmlerde renklerin bulanık ve soluk olması, film çerçevesindeki titremeler ve parlaklığın rasgele değişmesinden dolayı meydana gelen kırışmalar gibi değişik biçimlerde olabilmektedir [6]. Film bir video işaretime dönüştürülürken video satırları arasındaki eşzamanlama farklarından dolayı filmde çizgi seyirmesi gibi problemler de meydana gelebilir [7].

Ayrıca TV istasyonlarının logolarının, altyazılarının yok edilmesi için içboya yöntemleri başarılı bir şekilde uygulanabilir.

Aşağıdaki altbölümlerde ilk önce imge içboya ve doku sentezi yöntemleri kısaca anlatılacak ve daha sonra imge dizisi onarma yöntemlerinde kullanılan hareket kestirimi, bozukluk algılama ve onarma metotları açıklanacaktır.

## 1.2. İmge İçboya

$B \subset \mathcal{R}^s$ ,  $s$  boyutlu kapalı bir bölge olsun.  $B$  imge tanım bölgesi ve  $s \in \mathbb{N}^+$  ana uzay boyutu olmak üzere  $I$  gri düzeyli imge için,

$$I: \begin{cases} B \subset \mathcal{R}^s \rightarrow \mathcal{R} \\ \mathbf{p} \rightarrow I(\mathbf{p}) \end{cases} \quad (1.1)$$

ifadesi yazılsın. Burada  $s = 2$  ve  $s = 3$  iken sırasıyla  $\mathbf{p} = (x, y)$  ve  $\mathbf{p} = (x, y, t)$  olur. Renkli veya vektör-değerli imgeler içinse aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$I: \begin{cases} B \subset \mathcal{R}^s \rightarrow \mathcal{R}^c \\ \mathbf{p} \rightarrow I(\mathbf{p}) \end{cases} \quad (1.2)$$

Burada her bir piksel  $c \in \mathbb{N}^+$  vektör boyutludur ve  $c = 3$  için RGB (Kırmızı, Yeşil, Mavi) veya YUV renk bileşenli imge tanımlanır.  $I_i : B \rightarrow \mathfrak{R}$ ,  $I$  imgesinin  $i$ . vektör bileşeni ve imge kanalı olarak adlandırılır ( $1 \leq i \leq c$ ).

Sayısal içboyama, imgedeki bozukluk içeren küçük bölgelerin onarılmasında kullanılan bir yöntemdir. Çoğu içboyama teknikleri aşağıda açıklandığı gibi uygulanmaktadır [8]:

1. İçboyama yapılacak imge bölgeleri belirlenir. Şekil 1.8.b)'de gösterildiği gibi, genelde bu işlem için el ile bozuk bölgeler işaretlenerek bir maske imgesi hazırlanır.
2. Şekil 1.8.c)'deki gibi renk bilgisi doldurulacak bölgenin çevritinden içeriye doğru ilerletilir. Yani onarılacak bölgenin etrafındaki bozukluk içermeyen imge pikselleri ile eksik alanlar doldurulmaya çalışılır. Bu yöntemle onarılan bölgedeki kenar bilgileri gibi eşit düzey çizgileri mümkün olduğunca düzgün olarak devam ettirilmeye (birleştirilmeye) çalışılır (Şekil 1.9.c)).

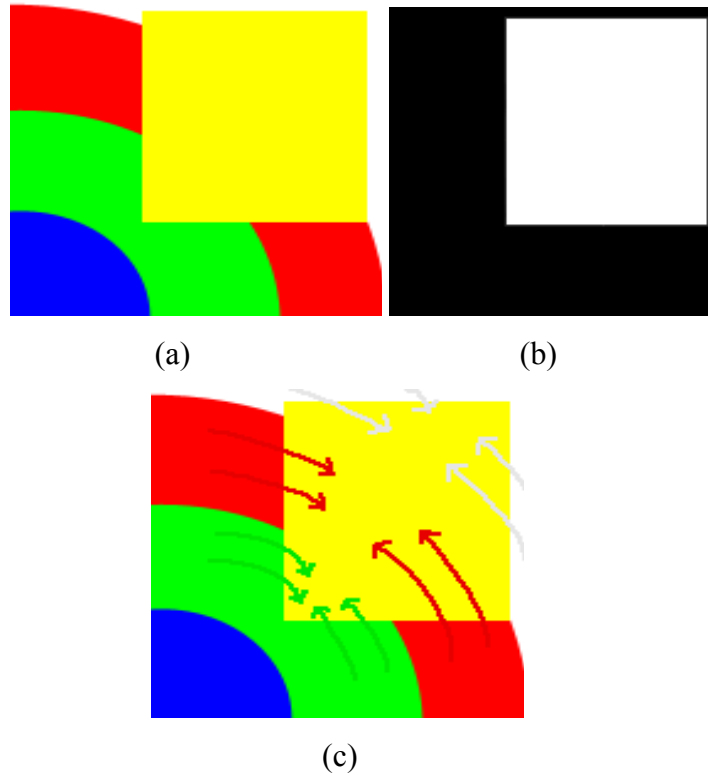
Şekil 1.10'daki gibi, bir imgede  $\Omega$  içboyama yapılacak bölge,  $\partial\Omega$  ise bu bölgenin sınırlarını olsun. İçboyama yöntemlerinde  $\partial\Omega$  sınırındaki eşit düzey çizgilerinin geliş açılarının korunarak  $\Phi$  bölgesinden  $\Omega$  bölgesine doğru ilerletilmesi sağlanılmaya çalışılmaktadır. [9]'daki açıklanan yöntemde, Laplace işleciyle elde edilen imge düzgünlük bilgisi, imge gradyanının 90 derece döndürülmesi ile kestirilen eşit düzey çizgileri boyunca ilerletilir. Bu yöntemde imgeyi güncellemek için kullanılan döngülü işlem algoritması aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$I^{i+1} = I^i + \Delta t \frac{\partial I}{\partial t}, \quad \frac{\partial I}{\partial t} = |\nabla I| \left( \nabla \Delta I \cdot \frac{\nabla^\perp I}{|\nabla^\perp I|} \right) \quad (1.3)$$

Burada  $i$  üst indisi  $i$ . içboyama adımı,  $\Delta t$  düzleştirme oranı ve  $\frac{\partial I}{\partial t}$ ,  $I^i$  imgesini güncelleme terimidir.  $\nabla I$ , Şekil 1.11'de gösterildiği gibi imgedeki en büyük uzamsal değişiminin yönünü veren imge gradyan vektörü ve  $\nabla^\perp I$  gradyan vektörün 90 derece döndürülmesi ile elde edilen, imge gradyanına dik, minimum uzamsal değişiminin yönünü



veren ve eşit düzey çizgilerine teğet olan bir vektör ve  $\Delta I$  ise, imge düzgünlük kestiricisidir.  $\nabla^\perp I$ , kaynak bölgedeki düzey çizgilerinin geliş açılarının korunarak hedef bölgeye doğru bir şekilde ilerletilmesini ve  $\Delta I$  ise, içboyama bölgesindeki doldurulacak pikselin yeniden kestirilecek değerinin hesaplanmasını sağlamaktadır.  $\|\cdot\|$  ise genliği belirtmektedir.



Şekil 1.8. (a) İçboyama işlemi için oluşturulmuş yapay bir imge. İçboyama yapılacak bölge sarı renkli karesel bir alanla işaretlenmiştir, (b) beyaz renkle işaretlenmiş maske imgesi ve (c) düzey çizgilerinin ilerletilmesinin gösterildiği imge

Denklem 1.3'ü daha açık bir şekilde yazacak olursak:

$$I_x = \frac{I(x+1, y) - I(x-1, y)}{2} \quad (1.4)$$

$$I_y = \frac{I(x, y+1) - I(x, y-1)}{2} \quad (1.5)$$

$$\nabla^\perp I = (I_y, -I_x) \quad (1.6)$$

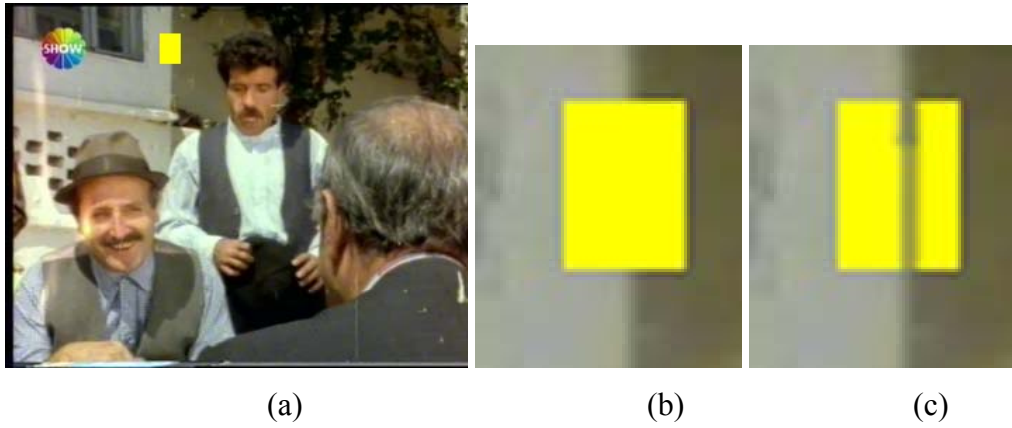
$$|\nabla I| = \sqrt{I_x^2 + I_y^2} \quad (1.7)$$

$$I_{xx} = I(x+1, y) - 2I(x, y) + I(x-1, y) \quad (1.8)$$

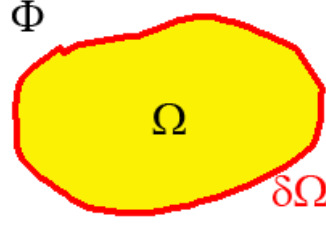
$$I_{yy} = I(x, y+1) - 2I(x, y) + I(x, y-1) \quad (1.9)$$

$$\Delta I = I_{xx} + I_{yy} \quad (1.10)$$

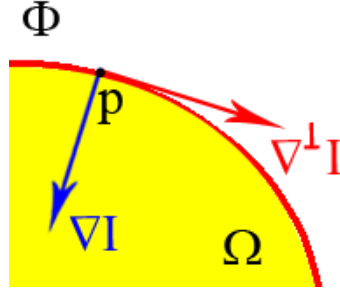
Burada  $\mathbf{p} = (x, y)$  noktası yürürlükteki pikselin koordinatı,  $I_x$  ve  $I_y$  sırasıyla  $x$  ve  $y$  yönlerindeki imge gradyan değerlerini göstermektedir. Yöntemin yatışkın durumu ise, denklemin  $\nabla^\perp I \cdot \nabla \Delta I = 0$  eşitliği ile sağlanır. Fakat eşit düzey çizgileri boyunca sabit düzgünlük varsayımı genelde başarılı bir doldurma işlemi gerçekleştirememektedir [1].



Şekil 1.9. (a) Gerçek imge dizisine eklenen sarı renkle işaretlenmiş yapay bir bozukluk, (b) yapay bozukluk eklemiş bölgenin büyütülmüş hali ve (c) onarma işleminde kenar bilgisinin (eşit düzey çizgilerinin) iletilmesi



Şekil 1.10. İçboyama işlemi için oluşturulmuş yapay bir imge. İmgedeki bozuk bölge  $\Omega$ , bozuk bölgenin çevriti  $\delta\Omega$  ve bozukluk içermeyen kaynak bölge de  $\Phi$  ile gösterilmiştir



Şekil 1.11. İmgede  $p$  noktasındaki  $\nabla I$  gradyan vektörü ve bu vektörün 90 derece döndürülmüş hali

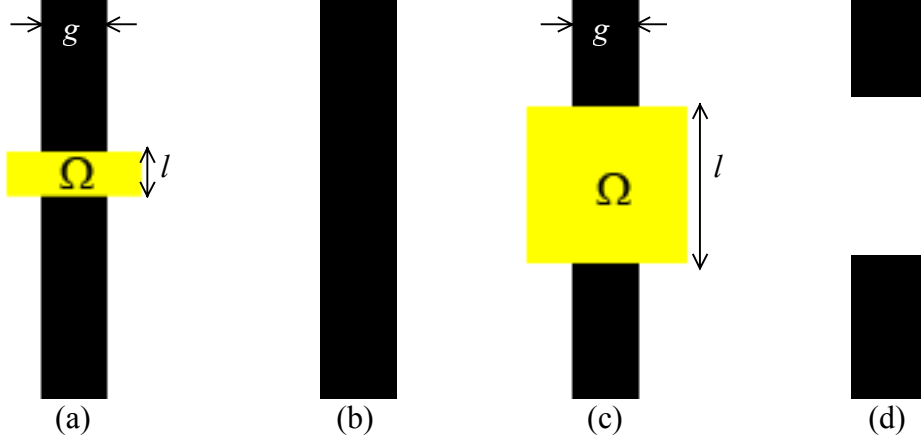
Toplam değişim (TD) yönteminde ise, eşit düzey çizgilerinin yönlerini iletirmek için Euler-Lagrange eşitliği ile yönbağımlı yayılım birleştirerek kullanılmıştır [10]:

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \nabla \cdot \left( \frac{\nabla I}{|\nabla I|} \right) \quad (1.11)$$

Şekil 1.12'de gösterildiği gibi, doldurulacak bölgenin yüksekliği genişliğinden daha büyük olması durumunda yöntem başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için TD içboyama yayılım katsayısı değiştirilmiş ve Kıvrım-Güdümlü Yayılım modeli için uyarlanmıştır [11]:

$$\frac{\partial I}{\partial t} = \nabla \cdot \left( \frac{f(|\kappa|) \nabla I}{|\nabla I|} \right) \quad (1.12)$$

Burada  $\kappa = \nabla \cdot (\nabla I / |\nabla I|)$  yerel eşit düzey çizgilerinin kıvrımı ve  $f$ ,  $|\kappa|=0$  ve  $|\kappa|=\infty$  değerleri için, sırasıyla  $f(0)=0$  ve  $f(\infty)=\infty$  sonuçlarını veren, başka bir ifadeyle zamanla artan bir fonksiyondur.

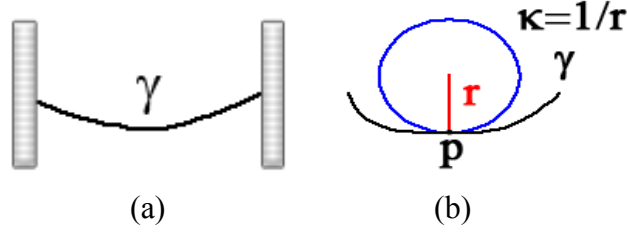


Şekil 1.12. (a) İçboyama yapılacak imgedeki doldurulacak bölgenin  $l$  yüksekliğinin  $g$  genişliğinden daha küçük olması durumu ve (b) TD yöntemiyle başarılı bir şekilde doldurma işlemi yapılmış imge, (c) İçboyama yapılacak imgedeki doldurulacak bölgenin yüksekliğinin genişliğinden daha büyük olması durumu ve (d) TD yöntemiyle başarısızlıkla sonuçlanan doldurma işlemi yapılmış imge

İçboyama yöntemlerinde genelde en küçükleme işlemi için Euler-Elastica enerji denklemi kullanılır [1]:

$$E(\gamma) = \int_{\gamma} (a + b\kappa^2) ds \quad (1.13)$$

Burada  $a$  ve  $b$  pozitif değerli ağırlıklar,  $\kappa$ ,  $\gamma$  eğrisinin yerel kıvrımı ve  $ds$  eğrinin uzunluğudur. Şekil 1.13'de görüldüğü gibi,  $\gamma$  eğrisinde  $p$  noktasındaki kıvrım değeri,  $o$  noktayı öpen bir çemberin yarıçapının karşıtına eşittir.



Şekil 1.13. (a)  $\gamma$  eğrisi ve (b) bu eğrinin  $\mathbf{p}$  noktasındaki kıvrımının hesaplanması

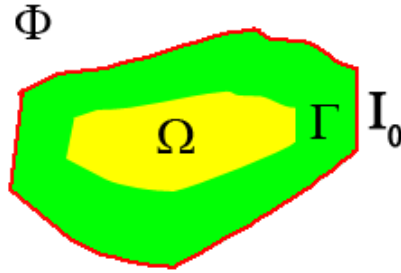
Bu enerji denklemi, içboyama yöntemi için aşağıdaki gibi yeniden düzenlenebilir:

$$E(I) = \int_{\Omega} \left( a + b \left( \nabla \cdot \frac{\nabla I}{|\nabla I|} \right)^i \right) |\nabla I| dx dy, \quad i = 2 \quad (1.14)$$

Eğer imge gürültü içeriyorsa, TD yöntemini kullanarak gürültü etkisini ortadan kaldırmak için Şekil 1.14'de gösterildiği gibi, imgede bir  $\Gamma$  dar bant bölgesi oluşturulur. Bu durumda Denklem 1.14'e aşağıdaki gibi bir parametre daha eklenir:

$$E(I) = \int_{\Omega \cup \Gamma} \left( a + b \nabla \cdot \left( \frac{\nabla I}{|\nabla I|} \right)^2 \right) |\nabla I| dx dy + \frac{\lambda}{2} \int_{\Gamma} (I - I_0) dx dy \quad (1.15)$$

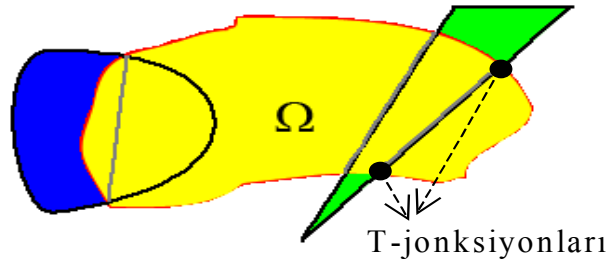
Burada  $\lambda$ ,  $\Gamma$  dar bant bölgesinde pozitif, diğer yerlerde sıfır değerli bir sayı,  $I_0$  ise kaynak bölgedeki imge verisini göstermektedir.



Şekil 1.14. Bir imgede  $\Gamma$  dar bant bölgesinin oluşturulması. Dar bant bölgesi yeşil renkte gösterilmiştir

[12]'de doğrudan düzey çizgilerini dikkate alarak geliştirilen bir yöntem ele alınmıştır. Şekil 1.15'de gösterildiği gibi, yöntemde imgedeki düzey çizgileri ile doldurulacak bölgenin çevritiyle kesişen bütün T-jonksiyonları bulunur ve ilişkili düzey çizgileri düz çizgilerle birleştirilir; fakat bu durumda içboyama bölgesinin sınırına gelen düzey çizgilerinin açıları iyi bir şekilde korunmamış olmaktadır. Yöntemde  $i = 1$  alınarak Denklem 1.14'ün en küçükleme işlemi için sayısal uygulaması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

- Doldurulacak bölgenin sınırıyla ilişkili çokgensel çizginin hesaplanması
- Doldurulacak bölgenin sınırındaki bütün T-jonksiyonlarının hesaplanması
- T-jonksiyonları ile birbirine bağlanacak düzey çizgilerinin en iyi ayarlamasının yapılması
- Kesel yolların çizimi
- Kesel yayının boyunca içboyama bölgesinin doldurulması



Şekil 1.15. İmgede doldurulacak bölge ile kesişen noktadaki T-jonksiyonlarının bir doğruyla birleştirilmesi. Birleştirilen doğrular gri renkte gösterilmiştir

Ayrıca pratik uygulamalar açısından daha hızlı çalışabilecek içboyama yöntemleri de geliştirilmiştir. [13]'de mevcut imge bilgisini eksik piksellere yayarak doldurma işlemini gerçekleştirecek basit bir 3 x 3 süzgeci içboyama bölgesine tekrarlanan bir şekilde evriştirilmiştir. Yöntem çok hızlı bir şekilde sonuca gitmesine rağmen, yalnızca homojen bölgelerin onarılmasında başarılı bir sonuç elde edilmektedir. Köşeler doldurulurken tamamen bulanıklaştırılmaktadır. Şekil 1.16'da gösterildiği gibi, diğer bir yöntemse hızlı düzenli ilerletme metodudur [8]. Düzeltilmiş ağırlık fonksiyonu ile  $B_r(\mathbf{p})$  deki bütün  $\mathbf{q}$  noktalarının kestirimleri toplamının çarpımlarının fonksiyonu olarak  $\mathbf{p}$  noktasındaki piksel aşağıdaki denklem kullanılarak içboyama yapılır:

$$I(\mathbf{p}) = \frac{\sum_{\mathbf{q} \in B_r(\mathbf{p})} w(\mathbf{p}, \mathbf{q})(I(\mathbf{q}) + \nabla I(\mathbf{q})(\mathbf{p} - \mathbf{q}))}{\sum_{\mathbf{q} \in B_r(\mathbf{p})} w(\mathbf{p}, \mathbf{q})} \quad (1.16)$$

Denklemdaki  $w(\mathbf{p}, \mathbf{q})$  ağırlık fonksiyonu aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$w_1 = \frac{\mathbf{p} - \mathbf{q}}{|\mathbf{p} - \mathbf{q}|} \cdot \mathbf{N}(\mathbf{p}) \quad (1.17)$$

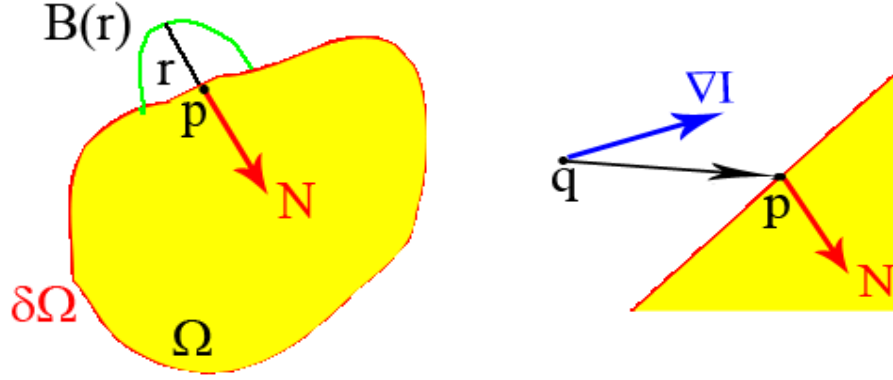
$$w_2 = \frac{1}{|\mathbf{p} - \mathbf{q}|^2} \quad (1.18)$$

$$w_3 = \frac{1}{1 + |\mathbf{T}(\mathbf{p}) - \mathbf{T}(\mathbf{q})|} \quad (1.19)$$

$$w = \prod_{i=1}^3 w_i \quad (1.20)$$

Burada  $w_1$  yönlü bileşeni, pikselin  $\mathbf{N} = \nabla \mathbf{T}$  yüzey normaline yakınlığının katkısını sağlar,  $w_2$  geometrik uzaklık bileşeni,  $\mathbf{p}$  pikselinden geometrik olarak daha uzakta olan piksellerin katkısını azaltır ve  $w_3$  düzey ayarı uzaklık bileşeni ise, daha uzaktaki piksellere kıyasla  $\mathbf{p}$  pikselinin çevritine yakın olan piksellerin katkısını daha fazla sağlar.  $\mathbf{T}$ ,  $\Omega$  piksellerinin  $\delta\Omega$  çevritine uzaklık eşlemeni gösterir.

[14]'de ise, imgenin global istatistiklerine bağlı bir içboyama yöntemi önerilmiştir. Eğitim imgesinden gradyanın yönünün ve genliğinin olasılığı elde edilir ve daha sonra en olası imgenin oluşturulması için kullanılır. Doldurma işleminde imge kenarlarında iyi bir sonuç elde edilmesine rağmen, yöntemin eğitim imgesi gereksinimi pratikteki uygulanmasını kısıtlamaktadır.



Şekil 1.16. Hızlı düzgün iletme yöntemi.  $B(r)$ ,  $p$  noktası civarında alınan bir parça ve  $N$  yüzeyin normalidir

### 1.3. Doku Sentezi

İçboyama yöntemi dokulu veya düzenli örüntü içeren bölgelere uygulandığında; yayılım süreci, doldurulan bölgede genelde biraz bulanıklaştırmaya neden olmaktadır. Bunun ana sebepleri aşağıdaki gibi açıklanabilir [1]:

1. Dokular genelde yüksek gradyan içerdiğinden içboyama işleminde yanlışlıkla kenar bilgisiymiş gibi algılanabilmektedir. Bu durumda bilgiler doldurulacak bölgeye hatalı şekilde iletilmektedir.
2. Kısmi diferansiyel denklemlerine dayalı içboyama yöntemlerinde kullanan imge bilgileri içboyama bölgesinde yalnızca dar bir bant içerisinde dikkate alınırlar. Sonuçta yeterli olmayan bu bilgi ile düzenli dokuların veya yapılarının ayırt edilmesi olanaksızlaşmaktadır.

Birçok çalışmada doku sentezi yöntemi örnek bir giriş parçasıyla daha büyük bir imge alanını doldurmak için kullanılmıştır [15-18]. Özellikle örnek-tabanlı yöntemler kaynaktan renk değerlerini örnekleyip kopyalayarak yeni dokuyu basit ve etkili bir şekilde oluştururlar. Bu yöntemler kullanılarak bir çok dokunun uzamsal olarak birbiriyle ilişkili olduğu karmaşık dokuları içeren imgelerdeki hedef bölgelerin doğrusal yapılarının da korunarak etkili bir doldurma işlemi yapılabilmesi fazla mümkün olamamaktadır.

[19]'daki önerilen yöntemde imgenin onarılması iki ayrı aşamadan oluşmaktadır. Birincisi içboyama, ikincisi ise doku sentezi işlemidir. Çıkış imgesi iki işlem adımın toplamıdır. Fakat bu yöntem küçük imge bölgelerinin doldurulması veya onarılması ile



sınırlı kalmaktadır ve ayrıca yayının işleminde de doldurulmuş bölge bulanıklaştırılmaktadır.

Özellikle imgede herhangi bir nesnenin yok edilmesi için örnek-tabanlı sentezleme yöntemine ilk yaklaşımlardan birisi [20]'de ele alınmıştır. Yöntemde, hedef bölgedeki doldurulacak bir pikselin doldurma sırası komşu piksellerin dokusallık düzeyleriyle belirlenmektedir ve başlangıçta imgeye gürültü ekleme de yapıldığından enküçükleme işlemi için fazladan hesaplama işlemine gereksinim duyulmaktadır. Diğer bir yöntemde ise doldurma sırası hedef bölgenin yerel şekliyle belirlenmeye çalışılmıştır; fakat doğrusal yapıyı tam olarak yayma işlemi yapılamamıştır [21].

[22]'de uyarlanır parçaların birleştirilmesiyle ayrıntı ekleme, arama ve özinyeli yaklaştırmaya bağlı parça-tabanlı içboyama yöntemi sunulmuştur. Yöntemde dairesel-tabanlı örnekleme kullanılarak bloklama bozuklukları ortadan kaldırılmıştır. Fakat giriş imgesinin ölçeklenmesi ve farklı çözünürlükte en iyi eşleştirme işlemi yapılması küçük bir bölgenin doldurulmasında bile çok fazla zaman harcanmasına sebep olmaktadır.

[23]'de geliştirilen yöntemde ise, [19]'daki yöntemde olduğu gibi içboyama ve doku sentezi yöntemi birleştirilerek kullanılmıştır. İlk önce giriş imgesi süzgeçlenmiş ve elde edilen imgeye içboyama yöntemi uygulanıp imge bölütlenmiştir. Daha sonra doku senteziyle doldurma işlemi iyileştirilmeye çalışılmıştır. Fakat doldurulan, özellikle doku içeren bölgelerde yine de bulanıklaşma olmaktadır.

[24]'de sayısal fotoğraflarda nesne yok edilmesi veya işaretlenmiş bir bölgenin doldurulması için örnek-tabanlı bir içboyama yöntemi geliştirilmiştir. Yöntemde doldurulacak hedef bölge işaretlenir ve daha sonra bu bölge imgenin geri kalan bölgesinden seçilen uygun imge parçalarıyla doldurulmaya çalışılır. Önerilen yöntem örnek-tabanlı doku sentezinin etkili ve kaliteli bir performansına sahiptir.

### **1.3.1. Örnek-Tabanlı İçboyama Yöntemi**

Örnek-tabanlı içboyama yöntemi aslında eşit düzey çizgisi-güdümlü imge örnekleme işlemidir ve iki boyutlu dokular için iyi bir performans veren örnek-tabanlı yaklaşımları kullanır[15-16]. Ayrıca doğrusal imge yapılarını iletirmek için örnek-tabanlı doku sentezinin etkili bir yöntem olduğu gösterilmiştir ve eşit düzey çizgilerinin doldurulacak bölgede iletilmesi için ayrı bir sentezleme işlemine de gerek duyulmamıştır.

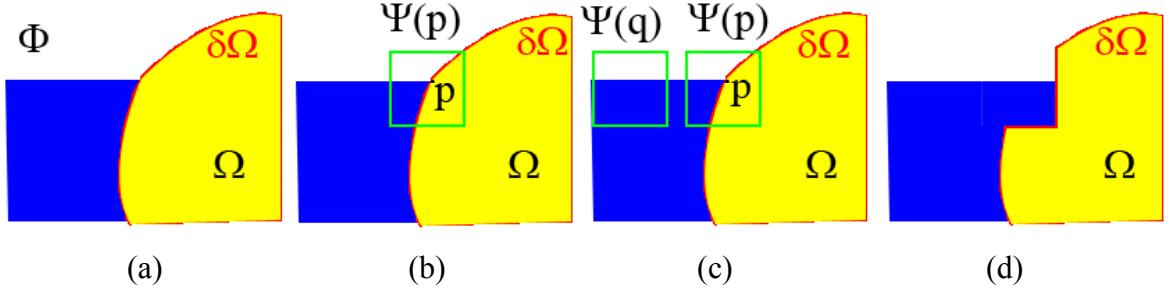
Şekil 1.17’de gösterildiği ve daha önceden içboyama yöntemlerinde anlatıldığı gibi benzer yazımlar kullanılmıştır. İçboyama yapılacak hedef bölge  $\Omega$  ve sınırı  $\partial\Omega$  ile gösterilmiştir.  $\Phi$  kaynak bölgesi ise içboyama işleminde kullanılacak örnek parçaları sağlayacaktır.

Örnek-tabanlı sentezleme tarafından yapının ve dokunun etkili bir şekilde doldurulacak bölgeye doğru nasıl ilerletildiğini anlayabilmek için tek bir adımda yapılan işlemleri ele alalım. Merkezi  $\mathbf{p}$  noktasında olan  $\Psi(\mathbf{p}) \in \Omega$  yürürlükteki doldurulacak parça olsun (Şekil 1.17.b)). Kaynak bölgeden en iyi-eşleşen örnek  $\Psi(\hat{\mathbf{q}}) \in \Phi$  parçası yürürlükteki doldurulacak  $\Psi(\mathbf{p})$  parçasına diğer parçalara göre oldukça benzerlik gösterir. Şekil 1.17.b)’deki örnekten de görüleceği gibi  $\Psi(\mathbf{p})$  parçası bir imgenin kenarı boyunca konumlanıyorsa, Şekil 1.17.c)’de  $\Psi(\mathbf{q})$  parçası gibi benzer eşleşmeler aynı kenar boyunca olacaktır.

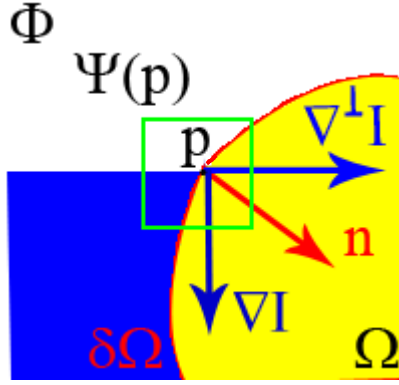
Şekil 1.17.d)’de görüldüğü gibi, hedef bölgenin içersine doğru doğrusal yapıyı ilerletmek için gerekli olan tek şey en iyi-eşleşen kaynak parçasını hedef bölgeye kopyalama işlemidir. Dikkat edilirse doğrusal yapının yönü otomatik olarak korunmuş olmaktadır. Aşağıda örnek-tabanlı içboyama yönteminin ayrıntılarına geçilmiştir.

İlk önce yok edilecek ya da doldurulacak  $\Omega$  hedef bölgesi işaretlenir,  $\Phi$  kaynak bölgesi ise imgenin geri kalan kısmını içerir ( $\Phi = \overline{\Omega}$ ). Daha sonra örnek-tabanlı doku sentezleme yöntemlerinde olduğu gibi,  $\Psi$  örnek pencere boyutu belirlenir. Varsayılan pencere boyutu 9 x 9 olarak alınabilir; fakat pratikte kaynak bölgesinde ayırt edilebilir en büyük doku elemanından biraz daha büyük olacak şekilde bir pencere boyutu seçilebilir. İmgede hedef bölgedeki her bir piksel doldurulma işlemine geçilmeden önce bir güven değeri içerir. Bu değer pikselin güveni yansıtan ve ilk önce hangi parçanın doldurulacağına işaret eden bir durumdur. Aslında yöntem hedef bölge dolduruluncaya kadar aşağıdaki üç adımı tekrarlar:

a) Parça önceliklerinin hesaplanması: İçboyama bölgesindeki piksellerin doldurulma sırası, parametrik olmayan doku sentezi yöntemlerinde en kritik bir adımı oluşturmaktadır (Şekil 1.18). Genelde eşmerkezli katmanlarda hedef bölge “soğan soyma” yöntemine benzer şekilde dıştan içe doğru sentezlenmektedir.



Şekil 1.17. Örnek-tabanlı doku senteziyle yapının ilerletilmesi: (a) Çevriti  $\delta\Omega$  olan  $\Omega$  hedef bölgeyi özgün imge ve  $\Phi$  kaynak bölgesi, (b) merkezi  $\mathbf{p} \in \delta\Omega$  noktasında olan  $\Psi(\mathbf{p})$  parçası ile sınırlandırılan alan sentezlensin, (c) kaynak bölgesinde  $\Psi(\mathbf{p})$  parçası için kenar boyunca  $\Psi(\mathbf{q})$  gibi oldukça benzer aday parçalar vardır, (d) adaylar arasında en iyi eşleştirilen parça  $\Psi(\mathbf{p})$ 'in bulunduğu konuma kopyalanır, böylece  $\Omega$  hedef bölgesinin bir kısmı doldurulmuş olur



Şekil 1.18. Yazım çizeneği.  $\Psi(\mathbf{p})$  yürürlükteki doldurulacak parça,  $\mathbf{n}(\mathbf{p})$ ,  $\Omega$  hedef bölgesinin  $\delta\Omega$  sınırına olan düzgelemiş normal ve  $\nabla^\perp I$ ,  $\mathbf{p}$  noktasındaki doğrusal yapının yönünü gösteren vektördür

Örnek-tabanlı içboyama yönteminde de doğrusal yapı korunacak şekilde her bir parça için atanan öncelik değerlerine bağlı olarak bir en iyi doldurma metodu kullanılmaktadır. Öncelik hesabı yüksek-güven değerli piksellerle çevrelenmiş ve kenar bilgisi içeren parçalara doğru eğilimlidir.  $\mathbf{p} \in \delta\Omega$  olmak üzere, merkezi  $\mathbf{p}$  noktasında olan bir  $\Psi(\mathbf{p})$  parçasının  $P(\mathbf{p})$  önceliği iki terimin çarpımı olarak tanımlanır:

$$P(\mathbf{p}) = C(\mathbf{p})D(\mathbf{p}) \quad (1.21)$$

$C(\mathbf{p})$  ve  $D(\mathbf{p})$  sırasıyla güven ve veri terimleridir ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$C(\mathbf{p}) = \frac{\sum_{\mathbf{q} \in \Psi(\mathbf{p}) \cap \bar{\Omega}} C(\mathbf{q})}{Alan(\Psi(\mathbf{p}))} \quad (1.22)$$

$$D(\mathbf{p}) = \frac{|\nabla^\perp I \cdot \mathbf{n}(\mathbf{p})|}{\alpha} \quad (1.23)$$

$$n_x = n(x+1, y) - n(x, y) \quad (1.24)$$

$$n_y = n(x, y+1) - n(x, y) \quad (1.25)$$

$$\mathbf{n}(\mathbf{p}) = \left( n_x / \sqrt{n_x^2 + n_y^2}, n_y / \sqrt{n_x^2 + n_y^2} \right) \quad (1.26)$$

Burada  $Alan(\Psi(\mathbf{p}))$ ,  $\Psi(\mathbf{p})$ 'nin alanı,  $\alpha$  bir düzgeleme faktörüdür (gri düzeyli imgeler için  $\alpha=255$  alınır) ve  $\mathbf{n}(\mathbf{p})$ ,  $\mathbf{p}$  noktasında  $\bar{\Omega}$ 'ın ön tarafına dik olan bir birim vektördür. Öncelik değeri, hedef bölgenin sınırında yürürlükteki parçanın her bir pikseli için hesaplanır.

$C(\mathbf{p})$  güven terimi değerlerini ilk kullanıma hazırlama işlemi aşağıdaki gibi yapılır:

$$C(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1, \forall \mathbf{p} \in \Phi \\ 0, \forall \mathbf{p} \in \Omega \end{cases} \quad (1.27)$$

$C(\mathbf{p})$  güven terimi,  $\mathbf{p}$  pikselini çevreleyen güvenilir bilgi miktarının bir ölçütü olarak düşünülebilir. Amaç kaynak bölgedeki piksellere ilave öncelik verilerek daha az kısmı hedef bölgeyi içeren parçaların ilk önce doldurulmasıdır. Doldurma kazancından dolayı, hedef bölgenin dış katmanındaki pikseller daha büyük güvenlik değerleri içerir ve

bu yüzden daha erken doldurulur; buna karşın hedef bölgenin merkezine yakın pikseller daha düşük güvenlik değerine sahiptir.

$D(\mathbf{p})$  veri terimi, her bir işlem adımında  $\mathcal{X}\Omega$  çevritine rastlayan eşit düzey çizgilerinin bir fonksiyonudur. Bu terim özgün doğrusal yapının kaynak bölgeden hedef bölgeye doğru ilerletilmesini sağlar. Yöntemde ilk önce doğrusal yapılar sentezlenir ve daha sonra doğrusal yapıların hedef bölgeye güvenli bir şekilde yayılması sağlanır, yani kırık düzey çizgileri birleştirilmeye çalışılır.

Güven ve veri terimi arasında ince bir denge vardır. Veri terimi hızlı bir şekilde doğrusal yapıyı içeriye doğru ilerletmeye çalışırken, güven terimi hedef bölgenin dıştan içe doğru doldurulmasını sağlar. Hedef bölgenin doldurulma sırası sadece  $P(\mathbf{p})$  öncelik terimiyle belirlendiği için, diğer parça-tabanlı yaklaşımlarda olduğu gibi rasgele bir sıralamaya göre yapılmamaktadır. Doldurulma sırasıyla eşit düzey çizgileri birleştirilmeye çalışırken, karmaşık parça-tabanlı yöntemlerdeki gibi bloklama bozulmaları fazla ortaya çıkmaz ve doldurulan bölgede bulanıklaşma da oluşmaz.

b) Doku ve yapı bilgisini yayma: Hedef bölgenin çevriti boyunca parçaların öncelik hesaplaması yapıldıktan sonra, en yüksek öncelikli  $\Psi(\hat{\mathbf{p}})$  parçası bulunur ve  $\Phi$  kaynak bölgesindeki en uygun parçayla doldurulur.

Klasik içboyama yöntemlerinde piksel-değerli yayınımla doldurma işlemi yapılır; fakat büyük bölgeler doldurulurken bulanıklaştırılmasına rağmen imgeyi düzgünleştirmek için gerekli bir adımdır.

Örnek-tabanlı içboyama yönteminde ise kaynak bölgeden alınan örnekler doğrudan hedef bölgedeki imge dokusuna aktarılır.  $\Psi(\hat{\mathbf{p}})$ 'e oldukça benzeyen parça için kaynak bölgede arama yapılır. Bunu için aşağıdaki ifade yazılabilir:

$$\Psi(\hat{\mathbf{q}}) = \arg \min_{\Psi(\mathbf{q}) \in \Phi} d(\Psi(\hat{\mathbf{p}}), \Psi(\mathbf{q})) \quad (1.28)$$

Burada  $\Psi(\hat{\mathbf{p}})$  ve  $\Psi(\mathbf{q})$  parçaları arasındaki  $d(\Psi(\hat{\mathbf{p}}), \Psi(\mathbf{q}))$  uzaklığı, iki parça arasındaki bozukluk içermeyen piksel farklarının karesel toplamı olarak tanımlanır.

Kaynak örneği  $\Psi(\hat{\mathbf{q}})$  parçası olarak bulunursa, bu durumda doldurulacak her bir piksel değeri,  $\hat{\mathbf{p}}|\hat{\mathbf{p}} \in \Psi(\hat{\mathbf{p}}) \cap \Omega$ ,  $\Psi(\hat{\mathbf{q}})$  parçasından hedef bölgeye kopyalanır.

Böylece  $\Phi$  kaynak bölgesinden  $\Omega$  hedef bölgesine hem yapı hem de doku yayılması başarılı bir şekilde sağlanmış olur.

c) Güven terimi değerlerini güncelleme:  $\Psi(\hat{\mathbf{p}})$  parçası yeni piksel değerleri ile doldurulduktan sonra,  $C(\mathbf{p})$  güven terimi  $\Psi(\hat{\mathbf{p}})$  ile sınırlandırılan alanda aşağıdaki gibi güncellenir:

$$C(\mathbf{q}) = C(\hat{\mathbf{p}}) \quad \forall \mathbf{q} \in \Psi(\hat{\mathbf{p}}) \cap \Omega \quad (1.29)$$

Önerilen örnek-tabanlı içboyama yöntemi aşağıdaki işlem adımlarından oluşmaktadır ( $i$  üst indisi yürürlükteki döngü adımını gösterir):

- Hedef bölgeyi işaretle
- $Alan(\Omega) > 0$  iken tekrarla:
  - $\partial\Omega^i$  çevritini belirle. Eğer  $\Omega^i = 0$  ise çık
  - $P(\mathbf{p}), \forall \mathbf{p} \in \partial\Omega^i$  önceliklerini hesapla
  - $\Psi(\hat{\mathbf{p}})|_{\hat{\mathbf{p}}} = \arg \max_{\mathbf{p} \in \partial\Omega^i} P(\mathbf{p})$  öncelik parçasını bul
  - $\Psi(\hat{\mathbf{q}}) \in \Phi | \arg \min d(\Psi(\hat{\mathbf{p}}), \Psi(\hat{\mathbf{q}}))$  örnek parçasını bul
  - $\Psi(\hat{\mathbf{q}})$ 'den  $\Psi(\hat{\mathbf{p}})$ 'ye imge verisini kopyala
  - $C(\mathbf{p}), \forall \mathbf{p} | \mathbf{p} \in \Psi(\hat{\mathbf{p}}) \cap \Omega$  güven terimi değerlerini güncelle

Örnek-tabanlı içboyama yöntemi [25]'de eşleştirme ve kopyalama işleminde 3-boyutlu parça kullanılarak videoya uygulanmıştır. Fakat bir önceki ve sonraki film çerçevelerinde doldurulacak bölgeler hemen hemen hiç hareket içermemektedir. [26]'da örnek-tabanlı içboyama yöntemine göre algoritma biraz daha hızlandırılmasına rağmen, o kadar da iyi sonuç vermemektedir. [27]'de Poisson denklemine dayalı bir içboyma yöntemiyle performans biraz daha iyileştirilmiştir. [28]'de ise alt-parça doku sentezi ve ağırlıklı aradeğerleme yöntemi kullanılarak doku ve yapı hedef bölgeye daha iyi bir şekilde iletirilmiştir.

#### 1.4. Hareket Kestirimi ve Dengelemesi

Görüntü dizileri zamansal değişimlere bağlı olarak incelenebilir. Bu değişimlere sebep olan en önemlilerinden bir tanesi zamansal boyuttaki yeğinlik değişimiyle sonuçlanan harekettir. Hareket gezinesi boyunca yeğinliğin değişmediği varsayılır. Fakat özellikle eski sinema veya bozukluk içeren imge dizilerindeki kırışımlar da zamansal boyutta yeğinlik değişimlerine neden olabilmektedir. Bazen de homojen bir nesnenin kendi etrafında dönme hareketi gerekli yeğinlik değişimlerine sebep olmaz.

Görüntü dizilerinde hem kamera hem de nesne hareketinin aşağı yukarı birkaç çerçeve boyunca devam ettiği varsayılabilir. Hareketli nesnelerin yönü ve hızı yalnızca zamanla değişir; fakat bu sadece bir sahne çekimi için geçerlidir. Sahne geçişlerinin eski sinema filmlerinde bozukluk olması, sahnenin yumuşak bir geçiş ile aydınlanması/kararması durumunda veya geometrik dönüşümler yüzünden algılanması zorlaşmaktadır.

Bir görüntü dizisindeki hareket, kamera veya sahnedeki nesnelerin 3-boyutlu hareketinden ya da kameranın odak uzaklığının değiştirilmesinden dolayı olabilir [29]. Hareket kestirimindeki temel problem, hem kamera hem de nesne hareketinin 3-boyutlu uzaydan 2-boyutlu imge düzlemine aktarılmasıdır. Algılanan hareket yalnızca gerçek hareketin 2-boyutlu izdüşümü değil, ayrıca yeğinlik değişimlerindeki etkisidir. Bu yüzden görünür hareket veya optik akış olarak adlandırılır. Kamera ve nesnenin doğru hareketi tam olarak kestirilemez, yalnızca görüntü dizisindeki optik akışa bağlı bir kestirim yapılabilir [30]. Bir imge dizisinde iki çerçeve arasındaki her bir pikselin 2-boyutlu hareketini kestirmek için  $\mathbf{u} = (u, v)$  hareket vektörü bulunmak zorundadır. Genelde hareket gezinesi boyunca yeğinlik sabiti varsayımı,

$$I(x, y, t) = I(x + dx, y + dy, t + dt) \quad (1.30)$$

kullanılır ve bu denklemin sağ tarafı birinci dereceden Taylor serisine açılırsa,

$$I(x, y, t) = I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt \quad (1.31)$$

$$I_x dx + I_y dy + I_t dt = 0 \quad (1.32)$$

olur. Burada

$$u = \frac{dx}{dt}, v = \frac{dy}{dt} \quad (1.33)$$

olarak alınırsa,

$$I_x u + I_y v = -I_t \quad (1.34)$$

optik akış denklemi elde edilir.

İmge dizisinde doğru hareket kestiriminin mümkün olmadığı karmaşık hareketli bölgeler olabilir. [31]'de bu tür hareketlere ayrık hareket denmiştir. Bunlara hareket bulanıklığı, bayrak dalgalanması gibi düzensiz hareketler ve örtüşen imgelerin hareketi gibi saydam hareketler örnek olarak verilebilir.

Çerçeveler arasında hareket kestirimi yapıldıktan sonra, imge dizileri iki çerçeve arasındaki hareket etkileri, hareket gezinesine göre en aza indirgenerek işlenebilir. Bu yüzden referans ile yürürlükteki çerçevesindeki pikselleri etkileşimli işlemek için, referans çerçevedeki her bir piksel konumuna  $\mathbf{u}$  hareket vektörü eklenmelidir. Referans çerçevenin hareket dengelenmiş ifadesi aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\hat{I}(x, y, t \pm 1) = I(x + u, y + v, t \pm 1) \quad (1.35)$$

Bu durumda hareket dengelenmiş  $\hat{I}(x, y, t \pm 1)$  çerçevesi  $I(x, y, t \pm 1)$  referans çerçevesinin yerine kullanılabilir ve basitleştirilmiş hareket ilişkisi için,

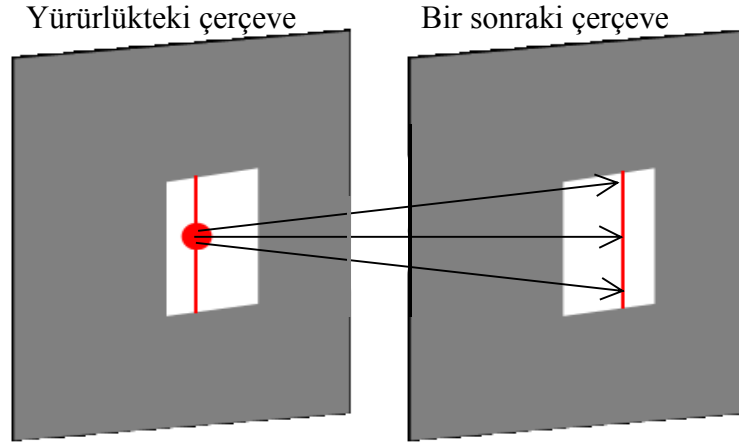
$$I(\mathbf{p}) = \hat{I}(x, y, t \pm 1) + \varepsilon(\mathbf{p}) \quad (1.36)$$

ifadesi yazılabilir. Burada  $\varepsilon(\mathbf{p})$  hata terimidir.



### 1.4.1. Açıklık Sorunu

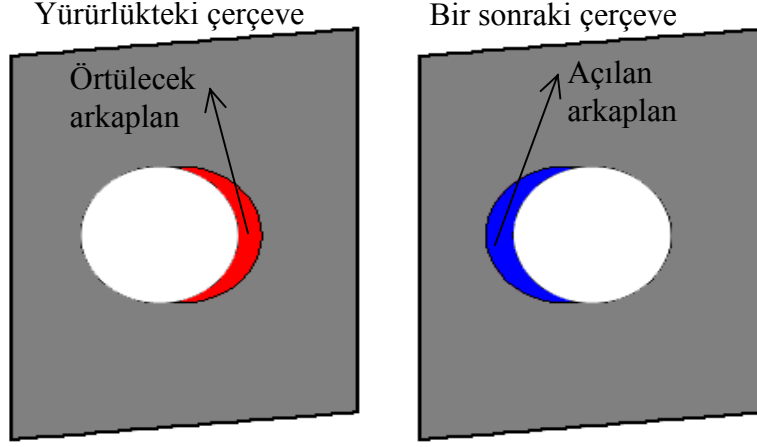
Hareket kestirimi imge dizisindeki yapı ve dokulara oldukça bağlıdır ve bu öznitelikler komşu çerçeveler arasında çerçevelerin görelî konumlarına bağlı eşleştirmeyi bulmak için gereklidir. Şekil 1.19’da görüldüğü gibi, arama bölgesinde yapı ve dokuların yetersizliği ya da daha küçük arama bölgesi seçimi açıklık problemine sebep olabilmektedir [30].



Şekil 1.19. Açıklık sorunu: Hareket gezintilerinin belirsizliği hareket kestiriminde en önemli problemlerden bir tanesidir. Diğer film çerçevesinde yürürlükteki piksel ile eşleşen bir çok piksel olabilmektedir

### 1.4.2. Örtme Sorunu

Bir nesne durağan bir arkaplanın veya diğer hareket eden bir nesnenin önünde hareket ediyorsa, her bir çerçevede arkaplanın farklı bir kısmını kapatır. Bir çerçeveden diğer bir çerçeveye kapatılan bölgelerin belki bir kısmı örtüşebilir. Bir bölgenin örtülmesi veya açılması imge dizisinde görüş alanının yönüyle ilişkilidir. Şekil 1.20’de görüldüğü gibi, bir bölge ileri yönde örtülürken, geri yönde açılıyor olabilir [30].



Şekil 1.20. Örtülen ve açılan arkaplan sorunu: Örtülen arkaplan kırmızı renkte, açılanı ise mavi renkte gösterilmiştir

### 1.4.3. Düzgünlük ve Hareket Süreksizliği

Hareket kestirimi bazı kısıtlamalar altında yapıldığından, genelde hareket yapısı hakkındaki varsayımları içeren bir hareket modeli kullanılır. Düzgünlük varsayımında hareket vektörleri herhangi bir bölge içerisinde birbirlerine oldukça benzerdir ve yalnızca çok az bir değişime uğrar [32]. Bu varsayım yalnızca hareket kestirim sorununu çözmeye yardımcı olmaz, ayrıca aykırı değerleri bastırmak için yararlıdır ve gürültüye karşı direnci de sağlamış olur.

Hareketli bir görüntü dizisi, genelde durağan bir arkaplan, farklı yönlere hareket eden nesnelere veya genel (kamera) hareketi içeriyor olabilir. Hareketli bir nesne ile arkaplan veya diğer nesnelere arasındaki geçiş sınırı mümkün olduğunca net bir şekilde olur. Hareket vektör alanında ani bir değişim olduğunda bu sınır hareket süreksizliği olarak adlandırılır. Bu özellik bölge etiketleme işlemlerinde kullanılabilir.

### 1.4.4. Zamansal Süreklilik

Nesnelere süreklilik sebebiyle hem kamera hem de nesne hareketi imge dizilerinde ani değişikliğe uğramaz. Bu gözlem ardışık çerçevelerdeki hareket vektörlerinin kesin bir benzerlik varsayımı için kullanılabilir.

### 1.4.5. Eski veya Bozukluk İçeren İmge Dizilerindeki Özel Sorunlar

Sayısal film onarma işlemlerinde hareket kestirimi önemli bir adımı oluşturmaktadır. Bu durumda hareket kestirimi, eski veya bozukluk içeren imge dizilerinin belirli özelliklerinin göz önüne alınarak yapılması zorunludur.

Günümüzde çoğu hareket kestirimi yöntemlerinde renk bilgisi de kullanılmaktadır [29]. Fakat eski film materyalleri genelde siyah-beyaz olduğundan renk bilgisi kullanımı mümkün olamamaktadır.

Eski sinema kameralarının pozlanma süresinin düzensizliğinden dolayı meydana gelen kırışma, komşu çerçeveleri arasında genel yeğlilik değişimine sebep olmaktadır. Ayrıca genel ve yerel yeğlilik veya renk değişimleri, uygun olmayan saklama koşullarından dolayı da meydana gelebilmektedir. Yeğlilik değişimi hareket kestirim yöntemlerinde ardışık çerçevelerinde en iyi blok eşleştirmelerinin bulunmasını zorlaştırmaktadır [33].

Tek çerçeve bozuklukları film çerçevesinin toz ve kir nedeniyle fiziksel veya kimyasal bozulmaya uğramasından dolayı olabilmektedir [33]. Benzer problemler film taranırken hatalardan veya video materyalindeki güç düşümünün sebep olduğu durumlardan dolayı olabilir [33]. Bu durumlarda hareket kestirimi hatalı yapılabilmektedir.

İmge dizisindeki dikey çizgiler içinse bazı hareket kestirim algoritmalarında çizgi eşleştirmesi yapılmaktadır.

### 1.4.6. Kestirim Yöntemleri

İmge dizilerindeki hareketi kestirmek için geliştirilen yöntemler, optik akış, frekans bölgesi ve blok eşleştirme olarak üç ana başlık altında toplanabilir.

Optik akış yöntemleri, hareket gezinimleri boyunca yeğliliğin değişmediği varsayımına dayanarak bir film çerçevesinde her bir piksel için hareket yer değiştirmesini hesaplar [30]. Bu yöntemler yalnızca küçük hareket yer değiştirmeleri için doğruluklu sonuç verir. Çünkü Taylor serisi yaklaşımı yalnızca yakın uzaklıklarda geçerlilik kazanmaktadır [34]. Bu yüzden arama bölgesini genişletmek için piksel-özyineli ve sıradüzensel yöntemler geliştirilmiştir [35]. Fakat genelde frekans bölgesindeki potansiyel (olası) arama alanı blok-tabanlı metotlardan daha küçüktür. Gürültü etkisini ortadan

kaldırmak için [36]'daki önerilen yöntem kullanılabilir. Yöntemdeki hesaplama karmaşıklığı az olmasına rağmen, çoğu imge dizilerindeki büyük hareket yer değiştirmeleri kestirilememektedir. Optik akış ve blok eşleştirme yöntemleriyle elde edilen bazı sonuçlar karşılaştırıldığında, optik akış yönteminin blok eşleştirme yönteminden daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir [34, 37]. Fakat blok eşleştirmeli hareket kestirimi kullanılarak imge dizisinde gürültü azaltılması yapıldığında optik akış yöntemine nazaran imgedeki yapı ve dokular daha iyi korumakta ve daha az bulanıklaştırma meydana gelmektedir [37].

Frekans bölgesi hareket kestirimi yer değiştirme vektörlerini hesaplamak için hareketin frekans özelliklerini kullanır. Fourier dönüşümünün zamansal veya uzamsal kaydırma özelliğini kullanan faz ilintisi [38] yönteme örnek olarak verilebilir. Bu yöntemde imge dizisindeki hareket doğru olarak kestirilebilir; fakat hesapsal yoğunluk oldukça fazladır. Blok eşleştirmeli yöntemle karşılaştırıldığı zaman; faz ilintisi yöntemi küçük arama pencereleri için daha fazla hesaplama gerektirmesine rağmen, daha büyük pencereler için daha etkili sonuçlar üretmektedir. Ama indirgenmiş arama metotları blok eşleştirme yöntemini büyük arama pencereleri için daha etkili hale getirmektedir. Bu durumda faz ilintisi gerçek-zamanlı onarma sistemleri için pratiksel olarak pek düşünülmez.

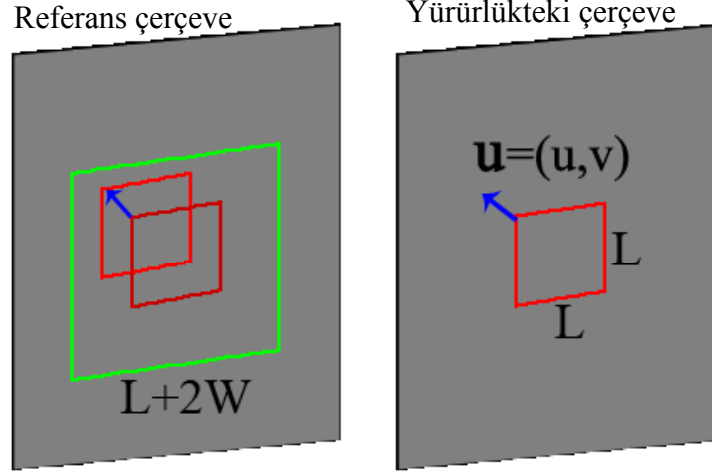
Blok eşleştirmeli hareket kestirim tekniğinde, yürürlükteki çerçeve  $L \times L$  piksel boyutlarında eşit-boyutlu bloklara bölünür. Blok içersindeki bütün piksellerin olası hareketli aynı nesneye ait olduğu varsayılmaktadır ve böylece bütün  $L^2$  piksellerine hesaplanan tek bir hareket vektörü uygulanır. Yürürlükteki çerçevede her bir blok, referans çerçevesinde aynı boyuttaki bir blokla geçerli  $W$  arama penceresi içinde değişik konumlarda karşılaştırılır. Karşılaştırma ölçütü  $d(\cdot)$ 'in en küçük hatasıyla belirlenen en iyi eşleşen konum, geçerli blok için en uygun hareket vektörü olarak seçilir. Böylece tek bir  $L \times L$  bloğu için arama işlemi [39]:

$$\mathbf{u}(x, y, t \pm 1) = (u, v) \mid \min d(I(x, y, t), I(x + u, y + v, t \pm 1)) \quad |u| \leq W, |v| \leq W \quad (1.37)$$

ifadesiyle hesaplanır.

Şekil 1.21'de gösterildiği gibi, yürürlükteki çerçevede bloğun konumuna bağlı olarak  $(0,0)$  görel konumundan başlanılarak referans çerçevede  $L + 2W$  boyutunun karesi kadar arama işlemi yapılmaktadır.  $(-W, -W)$  koordinatıyla  $(W, W)$  koordinatı arasında tek bir

blok için olası vektörlerin toplam sayısı  $(2W + 1)^2$  kadardır. Arama yöntemlerine bağlı olarak bütün görelî konumlarda arama yapılmayabilir. Ayrıca referans çerçevedeki piksel konumları arasında iki yönlü aradeğerleme yöntemi kullanılarak alt-piksel doğruluğuyla görelî konumları belirlemek mümkün olmaktadır [40].



Şekil 1.21. Blok arama yöntemi: Yürürlükteki  $L \times L$  imge bloğunun  $\mathbf{u} = (u, v)$  hareket vektörü

Blok boyutu gürültü bağışıklığına ve ortalama vektör boyutuna bağılı olarak da seçilebilir [40]. Küçük blok boyutu hareketli nesnelerin biçimlerini daha iyi bir yaklaşımla elde etmek için imgeyi birçok küçük bloklara böler; fakat dürtü gürültüsünün etkisi hatalı hareket kestirimine sebep olabilir. Daha büyük blok boyutları gürültüye karşı daha bağışıklıdır; fakat hareketli bölgeler daha az doğruluklu bir yaklaşımla kestirilecektir. Genelde blok boyutu 8 ya da 16 alınır [40].

Blok eşleştirmeli yöntem oldukça geniş görelî konumlarda bile iyi bir hareket kestirimi yapabilmektedir. Fakat çerçeveler arasında sadece ötelemeli hareketin olduğu varsayımı bazen sorunların ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Diğer bir sorun da nadiren nesne kenarlarının tam olarak blok sınırlarına karşılık gelmesidir, bu durumda bazı bloklar biraz arkaplan bilgisini ve biraz da hareketli nesnenin bir kısmını içerecektir. Böylece hareketin görelî konumu hareket olmaması ile doğru hareket kestirimi ya da rasgele vektör değerleri arasında değişecektir. Benzer bir sorun da bölgeler örtüştüğünde ya da nesneler çerçevenin içine ya da dışına doğru hareket ettiğinde meydana gelir.

Optik akış ya da frekans bölgesi hareket kestirimiyle karşılaştırıldığında, blok eşleştirmeli yöntem ne daha hızlıdır ne de doğru hareketi daha iyi kestirebilmektedir. Fakat çerçeve farklarına ve entropi ölçvelerine bağlı olarak karşılaştırma yapıldığında blok eşleştirme yönteminin imge kodlama uygulamalarında optik akış yöntemine göre performans olarak ya eşit ya da daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir [39]. Ayrıca blok eşleştirme temel işlemlerde de diğer kestirim metotlarıyla karşılaştırıldığında avantajlara sahiptir. Bu yüzden blok-tabanlı hareket kestirimi gerçek-zamanlı onarma sistemleri için en uygun olarak seçilebilir.

#### 1.4.6.1. Blok Eşleştirme Ölçveleri

İki blok arasındaki en iyi vektörün görelî konumunu belirlemek için, bloklar karşılaştırılmalı ve verilen görelî konumdaki benzerliklerinin bir ölçütü elde edilmelidir. Karşılaştırma ölçveî nicelik bakımından iki blok arasındaki benzerlikleri elde etmek için kullanılan matematiksel bir ifadedir.

Ortalama kare hata (OKH) genel bir karşılaştırma ölçveîdir [41].  $L \times L$  boyutundaki bir blok için yürürlükteki çerçeve  $I(x, y, t)$  ile referans çerçevesi  $I(x, y, t \pm 1)$  arasındaki OKH:

$$OKH = \frac{1}{L^2} \sum_{\{u,v\} \in L} (I(x, y, t) - I(x + u, y + v, t \pm 1))^2 \quad (1.38)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada  $L^2$  bloğun içindeki tüm konumlar ve  $\mathbf{u} = (u, v)$  ise bloğun hareket vektörüdür. OKH piksel başına üç ayrı aritmetiksel işlem gerektirir: Çıkarma, çarpma ve toplama. Bloкта  $L^2$  piksel için toplam olarak  $3L^2$  işlem yapılır. Eğer sabit boyutlu bir blok kullanılacaksa ifade  $\frac{1}{L^2}$  katsayısına bölünmeyebilir. Çarpma, toplama ya da çıkarma işlemi gibi hızlı gerçekleştirilemez. Bu yüzden bazen ortalama mutlak fark (OMF) [40] OKH'nın yerine kullanılabilir:

$$OMF = \frac{1}{L^2} \sum_{\{u,v\} \in L} |I(x, y, t) - I(x + u, y + v, t \pm 1)| \quad (1.39)$$

OMF da  $3L^2$  işlem gerektirir; fakat çarpmanın yerine mutlak değer kullanıldığından işlemler daha hızlı yapılmaktadır.

#### 1.4.6.2. Blok Arama Algoritmaları

Hesapsal yoğunluğu fazla olan ve arama penceresinde her olası konumu yürürlükteki blokla karşılaştıran tam arama [40] yönteminden farklı olarak sadece en iyi veya en iyiye yakın yer değiştirme üzerinde yakınsama ve altküme konumlarında arama işlemi yapan yöntemler de geliştirilmiştir [40, 42].

#### 1.4.6.3. Kabul Eşiği

Çoğu hareket kestirim yöntemleri gürültü etkisinden ya da hareket yönteminin varsayımlarından dolayı yanlış hareket vektörü hesaplanmasını olası kılmaktadır. Örneğin sıradüzensel hareket kestiriminde aynı bölgeler ölçekleme işlemiyle daha da yakınlaştırılmakta ve daha yüksek çözünürlüklere ilerlendiğinde yanlış hareket kestirimi yapılabilmektedir [42].

Böylesi sorunları çözebilmek için kabul eşiğini kullanan bir yöntem önerilmiştir [43]. Blok karşılaştırma ölçeğiyle en iyi eşleştirme konumundaki hesaplanan  $\varepsilon(u, v)$  hatası sıfır görelî konumundaki  $\varepsilon(0,0)$  hatasıyla karşılaştırılır ve eğer  $\varepsilon(u, v) / \varepsilon(0,0)$  bölümünden elde edilen değer belirlenen bir eşikten küçükse kestirim kabul edilebilir; değilse hareket vektörünün hatalı kestirildiği varsayılır.

### 1.5. İmge Dizisi Bozukluklarının Algılanması

İmge dizilerindeki bozuklukları onarmak veya yok etmek için imgedeki tüm piksellere bir alçak geçiren süzgeç uygulamak bir çözüm olabilir. Bu işlem kesinlikle leke ve çiziklerin etkisini azaltacaktır; fakat aynı zamanda imgenin bozukluk içermeyen bölgelerinin bulanıklaşmasına veya bozulmasına sebep olacaktır. Bu yüzden ilk önce

bozuk piksellerin algılanması ve daha sonra yalnızca bozulmuş pikselleri içeren bölgelerin onarılması tercih edilir.

Her bir çerçevedeki bozuk pikselleri algılamak için iki boyutlu imge işleme tekniği kullanılabilir; fakat bu yöntemlerle pek de doğruluklu sonuç elde edilememektedir. Leke ve beneklerin ardışık çerçevelerde aynı konumda olma olasılıkları pek azdır. Bu durumda bozuklukları algılamak ve daha sonra onarmak için komşu çerçevelerdeki bilgileri kullanmak oldukça yararlıdır [44]. İki boyutlu işlemlerle lekeyle futbol topu veya yağmur tanecikleri arasındaki fark iyi ayırt edebiliyorsa, belki doğru bir algılama yapılabilir. Fakat bozukluk tipleri ile nesnelere birbirinden ayırt edebilmek pek mümkün olamamaktadır.

Film bozukluklarını algılamak için kullanılan standart yöntem [33], yürürlükteki çerçevede bozuk bölgeleri algılamak için, yürürlükteki çerçeve ile birlikte hareket dengelemesi yapılmış bir önceki ve bir sonraki çerçeveleri de kullanır. Fakat yürürlükteki çerçevedeki leke konumlarında komşu çerçevelerde bozukluk olmadığı varsayımı yapılmaktadır. Hareket kestirimi doğru yapıldığı müddetçe yürürlükteki çerçevede bozuk bölgeler, hareket dengelemesi yapılmış bir önceki ve bir sonraki çerçevelerdeki komşu piksellerle karşılaştırılarak algılanabilir ve bozuk bölgeler işaretlendikten sonra sonuçlar algılama maskesi olarak gösterilebilir.

Algılama algoritması pikselleri bozulmuş ya da bozulmamış olarak sınıflandıracak birkaç eşik gereksinim duyar. Bu ayarlama iki uç değer arasındadır: Eşik çok küçük olarak ayarlanırsa yürürlükteki çerçevede neredeyse bütün piksellerin tamamı bozulmuş olarak işaretlenebilir. Eğer eşik çok büyük olarak ayarlanırsa, çerçevedeki gerçek bozuklukların miktarı göz önüne alınmadan çok az piksel bozulmuş olarak işaretlenebilir ya da hiçbir piksel bozuk olarak algılanamaz. Belirlenen eşikte, ödünleşim izin verilen yanlış algılama sayısı ve kaçırılan algılama sayısı arasında olmalıdır.

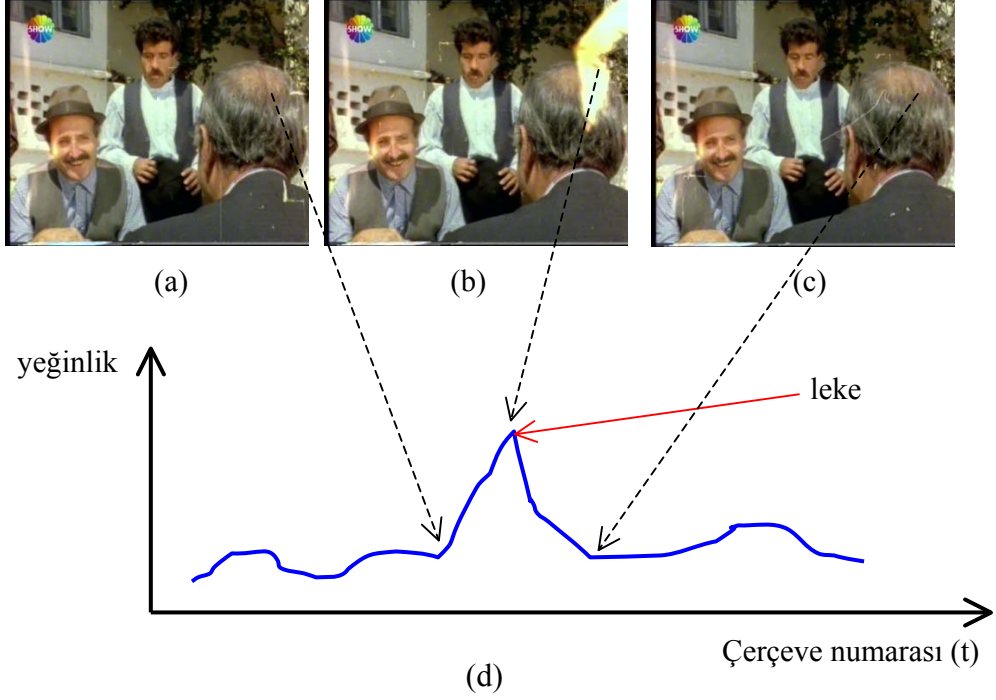
### 1.5.1. Ani Gürültü Algılama İndisi

Ani gürültü algılama indisi (AGAI) yöntemi, hareket dengelemesi yapıldığı varsayılarak ardışık çerçevelerde  $\mathbf{p} = (x, y, t + i)$  noktalarındaki piksellerin nispeten sabit bir yeğinliğe sahip olduğu fikrine dayanır ( $-1 \leq i \leq 1$ ).

Ardışık çerçevelerde aynı konumdaki yeğinliğin zamanla değişimi pek az fark eder. Şekil 1.22'de görüldüğü gibi, bir çerçevede çizik ya da leke görüldüğünde, o konumdaki



yeğinlik grafikte keskin bir doruk olarak ortaya çıkacaktır. Bozuk yeğinliğin parlak (çizik) ya da koyu (leke) olmasına bağlı olarak bu doruk pozitif ya da negatif değer alabilir.



Şekil 1.22. Leke algılama yöntemi: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki, (c) sonraki çerçeveler ve (d) ardışık çerçevelerde aynı uzamsal konumdaki bir pikselin yeğinlik değişimi

AGAİ algılama yöntemi ilk defa Storey tarafından fazla işlem yoğunluğu gerektirdiği için çerçeveler arası hareket dengelemesi yapılmadan kullanılmıştır [45]. Bozuklukları belirlemek için buluşsal algılayıcılardan bir tanesi olan  $AGAİ_p$  yönteminde [35]:

$$h_g = I(x, y, t) - \hat{I}(x, y, t-1), \quad h_i = I(x, y, t) - \hat{I}(x, y, t+1) \quad (1.40)$$

$$A_{AGAİ_p} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (|h_g| > h_t), (|h_i| > h_t) \text{ ve } \text{işaret}(h_g) = \text{işaret}(h_i) \text{ ise} \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.41)$$

ifadesi kullanılmıştır. Burada  $h_t$  hata eşiğidir. İfadenin özgün biçiminde  $I(x, y, t-1)$  ve  $I(x, y, t+1)$  göz önüne alınmıştır; fakat yöntem hareketli bölgelerin olduğu sahnelere uygulandığında algılayıcı performansı düşmektedir.

AGAİ yöntemini kullanan diğer bir algılayıcı [46]'da ele alınmış ve formül aşağıdaki şekilde verilmiştir:

$$h_1 = |I(x, y, t) - \hat{I}(x, y, t-1)|, \quad h_2 = |I(x, y, t) - \hat{I}(x, y, t+1)| \quad (1.42)$$

$$AGA\hat{I} = \begin{cases} 1 - \frac{|h_1 - h_2|}{|h_1 + h_2|} & \text{eğer } (h_1 > t_1) \text{ veya } (h_2 > t_1) \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.43)$$

$AGA\hat{I}$ , 0 ile 1 arasında bir değer alır. Eğer  $AGA\hat{I} > t_s$  ise  $A_{AGA\hat{I}} = 1$  olur ve bu durumda piksel bozuk olarak işaretlenir. Burada  $t_s$  algılama eşiğidir. Diğer durumlarda ise  $A_{AGA\hat{I}} = 0$  değerini alır.  $t_l$  eşiği ise,  $h_1$  ve  $h_2$  değerlerinin sıfıra yakın olması durumunda sıfıra bölme sorununu ortadan kaldırmak için kullanılır.

$AGA\hat{I}$ , hareket kestiriminin doğru yapıldığı durumlarda iyi bir performans gösterir; fakat hareketli bölgelerde örtüşme olması durumunda algılama performansı düşmektedir. Hatalı hareket kestirimlerinde daha doğruluklu algılama yapmak için yöntemde biraz daha değişiklik yapılmış ve  $AGA\hat{I}_a$  geliştirilmiştir [46]:

$$h_g = |I(x, y, t) - \hat{I}(x, y, t-1)|, \quad h_i = |I(x, y, t) - \hat{I}(x, y, t+1)| \quad (1.44)$$

$$A_{AGA\hat{I}_a} = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (h_g > h_i) \text{ ve } (h_i > h_t) \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (1.45)$$

Bu algılayıcı Denklem 1.40'daki çerçeve farkları aynı işaretli olma şartı kaldırıldığında  $AGA\hat{I}_p$  algılayıcısıyla aynı işlevi görmektedir.

Hareket dengelemesi yapıldığında, gerçek bir bozukluk için  $h_g$  geri ve  $h_i$  ileri yöndeki farkların aynı işaretli olduğu varsayılabilir; fakat pratikte her zaman bu böyle olmayabilir. Yürürlükteki çerçevede büyük boyutlu bozukluklar varsa, bunlar hareket bloğunun çoğunu

kaplar ve bu durumda blok eşleştirme ile kestirilen hareket vektörü rasgele bir değer alır. Çünkü imge verisi için değil de bozukluk içeren bölge için en iyi eşleştirme bulunacak ve ileri ve geri yöndeki kestirimler aynı olmayacaktır. Algılama aşamasında AGAİ yöntemi uygulandığında ise bozuk pikselle bir önceki ya da bir sonraki çerçeve verisi arasında büyük bir fark oluşacak ve aynı işaret değeri elde edilemeyecektir. Sonuçta AGAİ<sub>p</sub> algılayıcı bu tür durumları kaçırdığında, AGAİ<sub>a</sub> bunların bazılarını yakalayacaktır. Hatalı hareket kestirimi yapıldığı diğer durumlarda AGAİ<sub>p</sub> daha doğruluklu sonuç üretebilir.

Basit yapıları olmalarına rağmen, buluşsal ani gürültü algılama indisi yöntemleri iyi bir performans gösterir, gürültü olmasına rağmen doğru sonuç üretir ve uygulamalarda çok daha az işlem gerektirirler [46]; fakat zamansal özellikleri doğruluklarına sınırlama getirmektedir. Bir önceki ve bir sonraki çerçevelerden daha fazla piksel kullanılması yöntemin performansını artırabilir.

### 1.5.2. Sıra-Düzenli Farklar

Sıra-düzenli fark (SDF) algılayıcı, bozulmuş bölgeleri belirlemek ve daha iyi karakterize etmek için bir önceki ve bir sonraki çerçevelerden daha fazla piksel kullanarak ani gürültü algılayıcısının performansını iyileştirmeyi amaçlamıştır [47].

SDF algılaması daha fazla piksel desteği kullanmasından dolayı ani gürültü algılayıcılarından daha iyi bir performans sunar [35, 47]. Hesaplamalarda daha fazla işlem gereksinimi olmasına rağmen oldukça etkili bir yöntemdir. Ayrıca [48]'de SDF yöntemi ardışık 5 çerçeveye uygulanarak örtüşen lekelerinin algılanması da yapılmıştır.

### 1.5.3. Morfolojik Algılayıcı

Seçik kenarlı, siyah veya beyaz renklere yakın ve nispeten sabit yeşillikli küçük bölgelerdeki film bozukluklarını algılamak için sadece yürürlükteki çerçeveyi dikkate alan bir morfolojik algılayıcı [49]'da ele alınmıştır. Fakat yöntemin performans bakımından iyi olmamasının yanında ani gürültü algılama metotlarından ve SDF algılayıcıdan oldukça fazla işlem gereksinimi de vardır.

#### 1.5.4. Markov Rasgele Alanları

Bozukluk algılaması için Markov rasgele alanlarının kullanılmasının arkasındaki ilke, leke ve çizikleri yürürlükteki ve bir önceki veya bir sonraki çerçevelere bağlı olarak oluşturulan ayrı bir çerçevede modellemektir. Yöntem yaklaşık bir komşuluk bölgesi tanımlayarak bağlantılı bozukluk içeren bölgeleri bulmayı amaçlar [4]. Çok fazla işlem gereksinimi olmasına rağmen, MRA algılayıcısının performansı  $AGIA_a$  ile hemen hemen aynıdır. Bağlantısallık özelliği olduğundan, etrafındaki bölgeyle zayıf karşıtlıklı olan bozulmuş konumlarda iyi bir performans göstermesi bu yöntemin tercih sebebi olabilir [4]. Fakat pratikte bu tür bozukluklara sıkça rastlanılmamaktadır. Genelde MRA yöntemi yüksek hesaplama yoğunluğu olmasına karşın ani gürültü indisi algılama yöntemi üzerine bir avantaj sağlamamaktadır.

MRA yöntemini kullanarak imge dizisindeki bozuklukları algılayan yeni bir yöntemden [50]'de bahsedilmiştir. Bozuk imge dizisindeki lekeler zamansal kopukluk özelliğiyle algılanabilirler; fakat hatalı hareket dengelemesi yapılmış pikseller de zamansal kopukluk gösterir. Bu yüzden iyi hareket dengelemesi yapılmamış bölgelerdeki lekeleri ayırt edebilmek oldukça zorlaşacaktır. Geliştirilen MRA yöntemi yanlış algılama sorununa bir çözüm üretmiştir. Başka bir deyişle imge dizilerindeki lekeleri algılamada hareketli-kenarlardan leke-kenarın belirlenmesi için, hareketli-kenar algılayıcı kullanılarak hatalı algılama yüzdesinde azaltılma yapılmıştır.

#### 1.5.5. Özbağlanımlı Yöntemler

3-boyutlu özbağlanımlı yöntem, leke algılama problemlerine başarılı bir şekilde uygulanabilir [34]. Yüksek hesaplama gereksinimi ve düşük performansı, bu yöntemi gerçek zamanlı onarma sistemleri için uygun kılmamaktadır. Özellikle çok fazla hesaplama gereksinimi olduğu da düşünülürse, algoritmanın performansı o kadar da iyi değildir.

### 1.5.6. Çizgilerin Algılanması

Çizgiler, film projektörü ya da telesine cihazındaki kirli parçacıkların filmi aşındırdığı zaman oluşur. Bu bozukluklar peş peşe çerçevelerde hemen hemen aynı uzamsal konumda dikey çizgiler şeklinde görünürler. Leke ve çizikleri algılamak için kullanılan yöntemler, bu bozuklukları algılamada başarısız olurlar; çünkü bu bozukluklar zamansal olarak pek bir bilgi içermez. Çizgilerin algılanmasıyla ilgili bir çok yöntem geliştirilmiştir [4, 35]. Çizgiye benzeyen konumları bulmak için iki boyutlu yöntemler kullanılır. Dikey yönde çizgi geçişindeki yeğinlik bir dürtü gibi görünür [35] ve algılama yöntemleri bu profille eşleşen konumları bulmaya çalışır. Dikey yönde görüntü altörneklenecek yukarıdan aşağıya doğru film çerçevesinin tamamını kaplayan çizgiler yalıtılarak algılama işlemi daha da iyileştirilebilir.

Çizgilerin yok edilmesinde Hough dönüşümüne dayalı yöntemler olduğu gibi, tersinir-atlamalı Markov zincirleri istatistiksel yaklaşımı da iyi sonuç verir [35] ve ayrıca çizgilerin yok edilmesi uzamsal bir süzgeçleme işlemiyle ve içboyama yöntemleriyle de yapılabilir [5, 35].

### 1.6. İmge Dizisi Bozukluklarının Onarılması

İmge dizisi onarılması işleminde son adım algılayıcı ile belirlenmiş bozukluk içeren bölgelerin doldurulmasıdır. Bozulmuş pikseller mümkünse yürürlükteki çerçeve ve/veya hareket dengelemesi yapılmış bir önceki ve bir sonraki çerçevelerdeki komşu pikseller kullanılarak yeniden kestirilebilir.

Bazı yöntemlerde bozuk bölgeler algılamaksızın film çerçevesinin tamamına uygulanan genel süzgeçleme işlemleri kullanılmıştır [34, 51, 52]. Bu yöntemler iyi sonuç vermesine rağmen, ağırlıklı olarak hareket kestiriminin kalitesine bağlıdırlar. Hareket kestirimi yanlış yapıldığı zaman hatalı onarma ve görülebilir yapay bozulmalarla sonuçlanan süzgeçleme işlemlerinde komşu çerçevelerden anlamsız imge pikselleri kullanılabilir. Eğer bozukluk algılama adımı hızlı ve etkili bir şekilde yapılırsa performans da iyi olabilir.

### 1.6.1. Ortalama Süzgeçleri

Çerçeveadaki bozulmuş bölgeleri yeniden kestirebilmek için basit bir ortalama alan yaklaşım kullanılabilir. Bozuk konumdaki özgün piksel yeğini kestirebilmek için yürürlükteki ve/veya komşu çerçevelerdeki piksellerin ortalaması alınır. Bu yöntemler hareket kestirimi yapılmış çerçevelerin yüksek zamansal ilişkiye sahip oldukları ve tek bir çerçevede desteklenen bölge içersindeki yeğinin çok az değiştiği varsayımına dayanır. Bu kıstaslar dahilinde ortalama alan yöntemlerle özgün piksel değeri iyi bir şekilde kestirebilir.

En basit durumda destek bölgesindeki bütün pikseller ortalama hesabına katılabilir. Fakat yürürlükteki çerçevede bozuk bölgeler zaten algılandığı için bu pikseller ortalama işleminde hataya yol açarlar. Bu yüzden ortalama hesaplanırken destek bölgesindeki yalnızca bozulmamış pikseller kullanılır.

Ortalama işlemi 3-boyutlu bir FIR süzgeç gibi göz önüne alındığından destek bölgesindeki bütün piksellere eşit ağırlıklar atanabilir. Yalnızca bozulmamış pikseller kullanılacaksa bozuk piksel konumlarına sıfır ağırlıkları atanır. Destek piksellerine değişik ağırlıklar atanarak aradeğerleme kalitesinde belki bir iyileştirme yapılabilir. Bu yöntem özbağlanımlı onarma yönteminde de kullanılmaktadır.

### 1.6.2. Ortanca Süzgeçleri

Dürtü gürültüsü içeren imge dizilerini onarmak için ortanca süzgeci kullanılabilir. Destek bölgesindeki bütün piksellerin ortanca değeri hesaplanır ve bu değer bozulmuş piksel konumuna atanır. Ortalama süzgeçleri dokulu bölgeleri bulanıklaştırırken, ortanca süzgeci doğrusal olmama özelliğine sahip olduğu için bozuk pikseli daha iyi bir yaklaşımla yeniden kestirebilir [35].

Bozulmuş piksel ortanca hesaplamasına dahil edilmektedir. Çünkü etrafındaki piksellerden oldukça farklı olduğu için ortanca değer olarak seçilmeyecektir. Fakat bu durum yanlış algılamaya da yol açmaktadır. Eğer ilgili piksel destek bölgesindeki diğer piksellerle karşılaştırıldığında uç bir değere sahip değilse, bozulmuş olarak işaretlenen bir konum özgün değerini tutabilir.

Ortanca süzgeç daha geniş piksel bölgeleriyle piksel yeğinliğini daha iyi belirleyebilir. Fakat yürürlükteki ve komşu çerçevelerde destek bölgesindeki bazı pikseller de bozulmuşsa, ortanca süzgecin çıkışı doğru olmayabilir. Bir önceki bölümde de belirtildiği gibi destek bölgesindeki yalnızca bozulmamış pikseller kullanılması stratejisi ortanca işlemlere de uygulanabilir. Fakat bu o kadar da önemli değildir. Çünkü bozulmuş piksel değeri geçerli piksellerle karşılaştırıldığında uç noktalarda kalması oldukça mümkündür ve ortanca değer olarak seçilmeyecektir.

Komşu pikseller bozuk olsa bile, destek bölgesindeki bütün pikselleri kullanarak yürürlükteki pikseli daha iyi bir şekilde yeniden kestirebilen bir çokdüzeyli ortanca süzgeç (ÇD3B) [34]'de geliştirilmiştir (Şekil 1.23). Her bir bozulmuş piksel için beş farklı destek bölgesi kullanır ve süzgecin son çıkışı aşağıdaki gibi hesaplar:

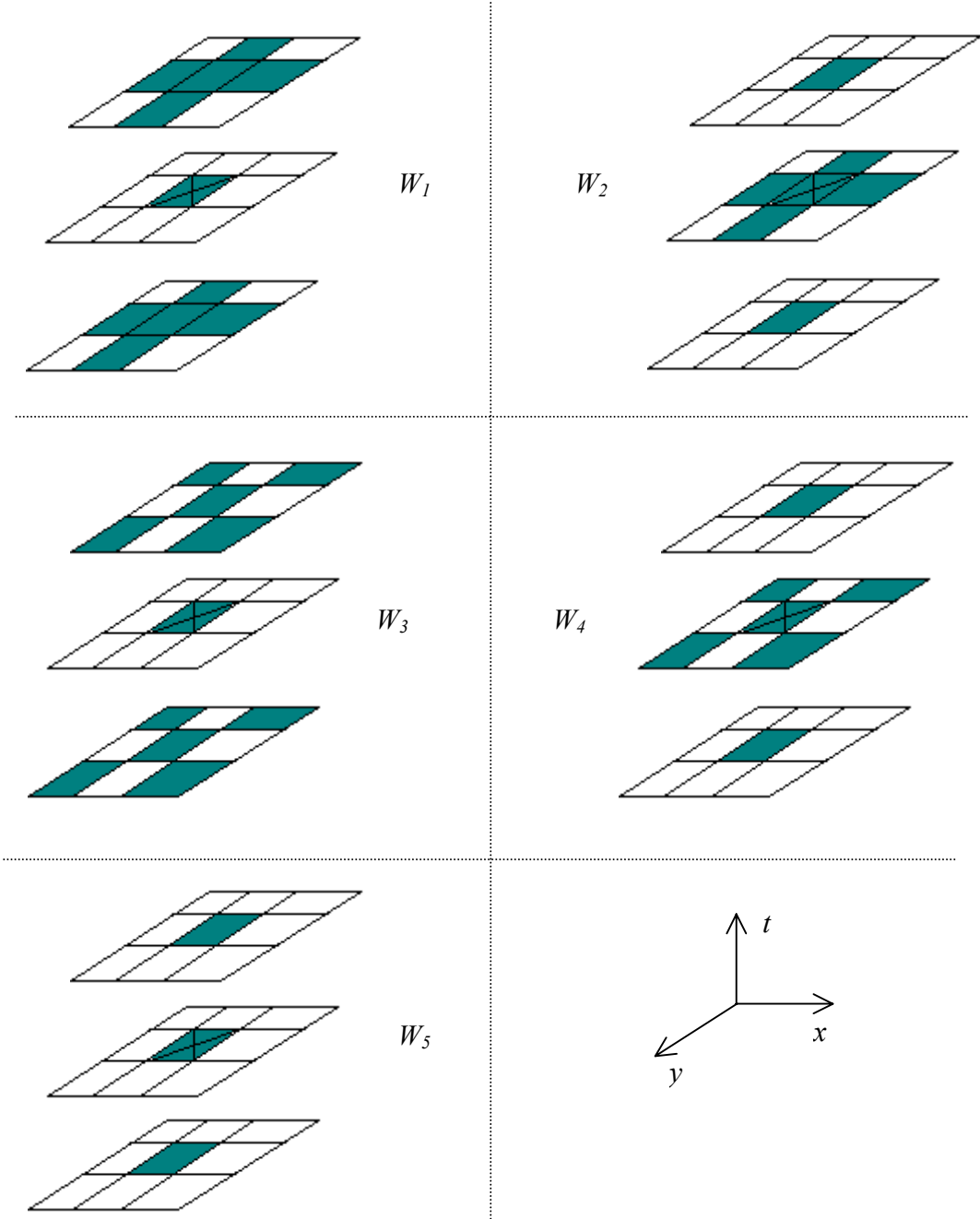
$$M_i = \text{ortanca}[W_i], 1 \leq i \leq 5 \quad (1.46)$$

$$\tilde{I} = \text{ortanca}[M_i], 1 \leq i \leq 5 \quad (1.47)$$

Başka bir ifadeyle her bir destek bölgesi için ortanca değer hesaplanır ve daha sonra bunların da ortanca değeri yeniden kestirilecek pikselin değerini belirler. Değişik konfigürasyonlarda farklı destek bölgeleri kullanılarak süzgeç yürürlükteki ve komşu çerçevelerdeki bozulmuş birçok pikselin durumlarına göre uyarlanabilir.

Ortanca süzgeçlerin doğrusal olmama özelliğinden dolayı dokulu bölgeler bulanıklaştırılmadan onarılabilmektedir. Fakat bozuk bölgelerinin yeniden kestirilmesinde ortanca süzgeçleme, etraftaki bölgelerden pikselleri yeniden düzenlerken yapay bozukluklara sebep olabilmektedir [44]. Bu durum metin gibi fazla detay içeren bölgelerde meydana gelmektedir. Bu etkiler gürültüye karşı çok fazla duyarlı olmasına rağmen, 1:1:1 gibi sadece zamansal desteği kullanan ortanca süzgeciyle azaltılabilir.

[48]'de ÇD3B süzgeci, ardışık 5 çerçeveye uygulanarak yoğun bozukluk içeren imge dizileri başarılı bir şekilde onarılmıştır.



Şekil 1.23. ÇD3B çokdüzeyli ortanca süzgeç maskeleri. Destek bölgeleri mavi renkle gösterilmiştir



### 1.6.3. Markov Rasgele Alanları

Markov rasgele alan aradeğerleyicisi MRA algılayıcısı gibi benzer ilkeleri kullanır. Fakat bu durumda yöntem bozukluk maskesinin yerine özgün film çerçevesini yeniden kestirmeye çalışır.

MRA aradeğerleyicisi bozuklukları etkili bir şekilde onarabilir ve ortalama ya da ortanca süzgeçleme yöntemlerine benzer bir sonuç verir [4]. Fakat hesapsal yoğunluğu oldukça fazladır ve bozulmuş piksel başına yaklaşık 22000 işlem gerektirir [44]. Bu yüzden gerçek zamanlı uygulamalar için düşünülmez.

### 1.6.4. Özbağlanımlı Yöntemler

Özbağlanımlı algılayıcı gibi, özbağlanımlı aradeğerleyici de küçük bir alan üzerinde yeniden kestirilecek görüntüyü elde etmek için süzgeç katsayılarını uyarlar [44]. Özbağlanımlı aradeğerleyici bozulmuş dizilerde iyi sonuçlar verir [34, 53]. Fakat tipik koşullar altında bozulmuş piksel başına yaklaşık olarak 20000 işlem gerekmektedir [44]. Bu durum gerçek zamanlı uygulamalar için çok yüksek olarak düşünülmektedir.

Özbağlanımlı katsayılarını daha iyi kestirebilmek için [54]'te ağırlıklı Gauss fonksiyonu kullanan bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde hata terimi ağırlıklı Gauss katsayısı ile hesaplanarak onarma kapasitesi biraz daha iyileştirilmiştir.

### 1.6.5. JOMBADI Yöntemi

JOMBADI (algılamaya ve aradeğerlemeye dayalı birleşik yöntem) algoritması hareketli film onarılmasında kullanılmak üzere geliştirilmiştir [35]. Bu yöntem tam anlamıyla bir aradeğerleyici değildir, çünkü tek bir adımda algılama ve onarma işlemini gerçekleştirir. En iyi geri çatılma için hareket kestirimini doğru olarak bulmaya çalışır.

Aslında JOMBADI ilk değerli bir hareket alanı ve algılama maskesine gereksinim duyar ve bunlar herhangi basit yöntemlerle oluşturulabilir. Daha sonra bazı bloklar için hareket vektörleri rasgele ayarlanır ve imge verisinin istatistiksel bir modeli oluşturularak

yeniden kestirilecek çerçeve için bir tahmin değeri elde edilir ve bu işlem, sonuçlar bazı şartlara yakınsanıncaya kadar devam eder.

Bütün onarma adımlarının eşzamanlı yapıldığı da düşünülürse JOMBADI için hesapsal yoğunluk diğer yöntemlerden daha fazladır; fakat onarma kalitesinden dolayı iyi bir onarma algoritması olarak düşünülebilir.

### **1.6.6. İçboyama Yöntemleri**

Son zamanlarda içboyama yöntemleri kullanılarak imge dizisi ve video işleme üzerine birçok çalışma yapılmıştır. [55]'de içboyama metoduyla film çerçevelerindeki leke ve çizgilerin algılanması ve yok edilmesi için bir yöntem geliştirilmiştir. Gri düzeyli imge dizileri için optik akış tekniğiyle hareket kestirimi yapılmış ve bu metoda bağlı olarak bozuk bölgeler algılanmış ve onarılmıştır. Bozuk bölgeler, çerçeveler arası işlem yapılarak bir önceki ve bir sonraki çerçevelerden en uygun piksellerle doldurulmuş ve onarılamayan diğer pikseller ise çerçeve içi içboyama yöntemiyle iyileştirilmiştir. Yöntemde çizgilerin yok edilmesi tam olarak sağlanamamış ve ayrıca doku içeren bölgeler doldurma işleminde bulanıklaştırılmıştır.

[56]'da ise video içboyama için bir yöntem geliştirilmiştir. İmge dizilerinde hareket kestirimi ve buna bağlı olarak dizilerin onarılması için Bayes modeline dayalı yeni bir enerji en küçükleme metodu önerilmiştir. Fakat hareketin yoğun olduğu bazı bölgelerde onarma işlemi başarılı bir şekilde yapılamamıştır.

[57]'de uygun video parçalarından zaman-uzamsal bloklarla eksik video kısımları doldurulmuştur; ama doldurulan dokulu bölgelerde yine de bulanıklaşma olmaktadır.

[58]'de ise hızlı düzgün ilerletme yöntemi kullanılarak hareket vektörlerinin kestirimi içboyama ile yapılarak video çerçevelerinin kararlılaştırılması yapılmıştır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Bu tezde leke şeklindeki yerel bozuklukların otomatik olarak algılanması ve onarılması için bir yöntem geliştirilmiştir.

Jelatinin yıpranmasından ve film yüzeyine yapışan toz parçacıklarından dolayı oluşan lekeler, eski sinema filmlerinde en sık rastlanılan bozukluklardır. Lekeden dolayı bozulmaya uğrayan imgedeki özgün yeğinliklere eksik bilgi denilebilir. Bozuklukları onarmak için önce lekelerin algılanması ve daha sonra algılanan bozulmuş imge bölgelerinin aradeğerleme ile doldurulması gerekmektedir. Çerçeveler arası zamansal bilgi kullanımı aradeğerleme işlemiyle elde edilen sonucun kalitesini oldukça iyileştirir. En iyi aradeğerleme sonuçlarını elde etmek için doğru bir hareket kestirimine ve dengelemesine gereksinim vardır. Fakat hareket kestirimi sorunundan dolayı imge dizisi onarmada günümüzde bile hala tutarsız sonuçlar elde edilmektedir. Bu yüzden son zamanlarda hareket kestirimi gereksinimine ihtiyaç duyulmadan yapılan imge dizisi onarma yöntemleri geliştirilmektedir. Önerilen çalışmada da özellikle leke algılaması çerçeveler arası hareket gezingelerine göre yapılmış ve onarma aşamasında ise, blok-tabanlı hareket kestirimden dolayı hareket dengelemesinde ortaya çıkan bloklama etkileri ve lekeli bölgelerde hareket kestiriminin tam olarak yapılamaması sebebiyle, hareket gezingeleri sadece zaman-uzamsal örnek-tabanlı imge içboyama yönteminde komşu çerçevelerdeki veri teriminin elde edilmesinde kullanılmıştır.

Leke algılaması için geliştirilen yöntemlerde bozulma modeli için aşağıdaki ifade kullanılabilir [35]:

$$I(\mathbf{p}) = (1 - A(\mathbf{p}))Y(\mathbf{p}) + A(\mathbf{p})Z(\mathbf{p}) \quad (2.1)$$

Burada  $I$  ve  $Y$  sırasıyla gözlemlenen ve özgün imge bilgisidir. Yürürlükteki film çerçevesinde her bir pikselin bozuk olup olmadığını  $A$  ikili leke algılama maskesi belirtmektedir:  $A(\mathbf{p}) \in \{0,1\}$ .  $Z(\mathbf{p})$  bozukluk içeren imge bölgelerindeki piksel değerlerini göstermektedir ve hiçbir zaman özgün imge piksellerine eşit değildir.

Başka bir ifadeyle  $Z(\mathbf{p}) \neq Y(\mathbf{p})$  olur. Lekelerin genel özelliğinden dolayı bozuk bölgelerdeki yeğlilik değerleri düzgün bir değişim gösterir ve lekeli bölgedeki  $Z(\mathbf{p})$ 'in değışintisi de küçüktür. Ayrıca lekelerin ardışık film çerçevelerinde aynı uzamsal konumda görünme olasılıkları da pek azdır. Bu yüzden  $A$  leke algılama maskesi ardışık film çerçevelerinde aynı uzamsal konumda nadiren 1 değerli olur. Fakat imgedeki lekeli bir bölgede uzamsal evreuyumluluk vardır; eğer bir piksel lekeli ise, komşuluğundaki bazı pikseller de lekeli olabilir. Örneğın, eğer  $A(\mathbf{p})=1$  ise,  $A(x \pm 1, y \pm 1, t)=1$  olabilir. Bozulma modelindeki  $Z(\mathbf{p}) \neq Y(\mathbf{p})$  durumu, lekelerin imge yeğnlüğindeki zamansal süreksizliğini gösterir. İmge yeğnlüğindeki zamansal süreksizliğe ayrıca arkaplanı açan/örtten hareketli nesnelere de sebep olabilir; fakat leke ile hareket etkisi arasında bir fark vardır. Hareket ya ileri ya da geri zamansal yönde süreksizliğe sebep olurken, lekeler her iki zamansal yönde de süreksizliğe neden olur.

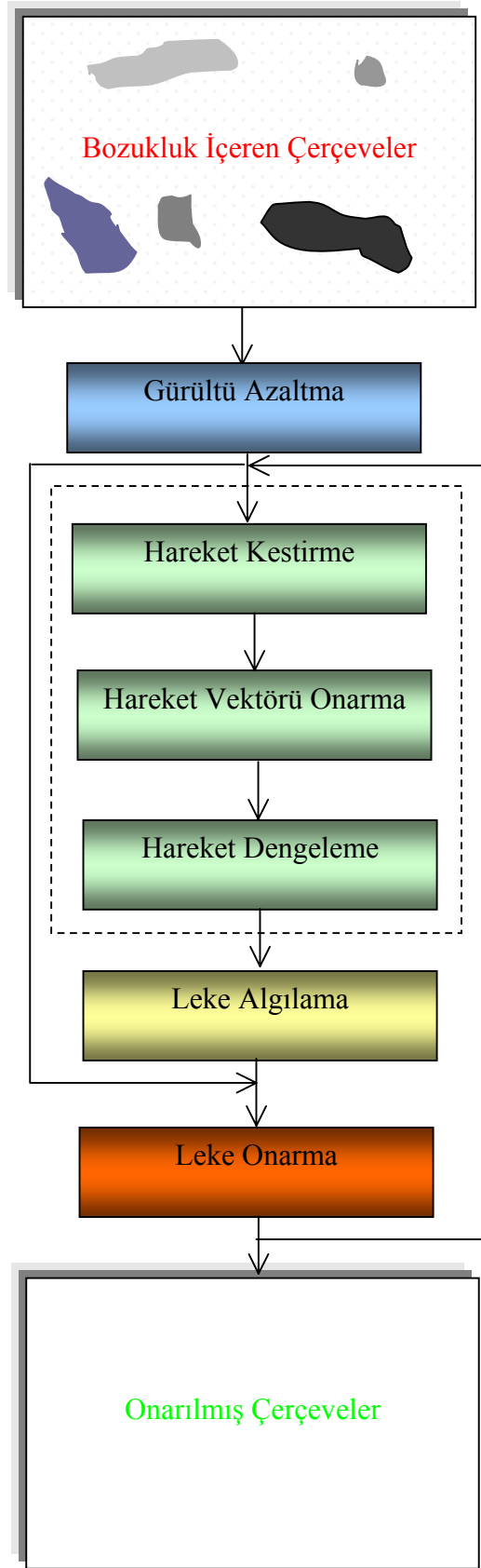
Şekil 2.1'de önerilen yöntemin akış diyagramında da görülebileceğı gibi, ilk adım gürültü azaltma modülünden oluşmaktadır. Bu modülde son zamanlarda geliştirilen, hareket kestiriminden bağımsız, çerçeveler arası bir gürültü azaltma yöntemi kullanılmıştır. İmge dizilerinde gürültü azaltılması işlemi, hem hareket kestirimi hem de eksik bölgelerinin onarılması başarımını artırmaktadır.

Kestirilen hareket vektörleri, lekeden dolayı bozukluk içeren imge konumlarında güvenilir değildir; çünkü bozuk veri yüzünden hatalı kestirilmektedir. Hareket kestirim modülü geri ve ileri yönlerde ardışık film çerçevelerindeki hareketi kestirir. Hareket kestirimi yapıldıktan sonra yanlış kestirilen hareket vektörlerini, hareket vektörü onarma modülü düzeltir ve çerçeveler arası hareket dengelemesi yapıldıktan sonra, yöntemdeki bir sonraki adıma, başka bir ifadeyle leke algılamasına geçilir.

Son olarak da lekeli bölgeler, geliştirilen zaman-uzamsal örnek tabanlı imge içboyama yöntemleri kullanılarak onarılır.

Geliştirilen yöntem, hatalı hareket kestiriminden de fazla etkilenmeden tamamen otomatik şekilde imge dizilerindeki lekeli bölgeleri algılamakta ve bozukluk içeren bölgeler, uygun imge parçalarıyla zaman-uzamsal örnek-tabanlı içboyama yöntemleriyle doldurulmaktadır. Gürültü azaltma modülünde kullanılan yerel olmayan-ortalamalar yöntemi, imgenin hem yapısını hem dokusunu bulanıklaştırmadan imgede iyi bir iyileştirme yapmakta ve hareket kestiriminin ve onarma işleminin doğru bir şekilde yapılmasına olanak sağlamaktadır. Hareket kestirimi modülündeki hızlı öngörücü karo

arama metodu, blok eşleştirmedeki tam arama yöntemine benzer sonuç üretmesinin yanında komşu hareket vektörleri arasındaki ilintiyi de göz önüne alarak, imge dizisindeki global hareketi ve sahne değişimlerini de doğru bir şekilde kestirebilmekte, ayrıca gürültüden de fazla etkilenmemektedir. Hareket vektörü onarma modülünde çerçeveler arası zamansal ilinti dikkate alınarak, hatalı kestirilen hareket vektörleri için bir onarma algoritması geliştirilmiştir. İmge büyük boyutlu leke içerse bile, hareket vektörü onarma modülü lekeli bölgelerdeki hareket vektörlerini etkili bir şekilde onarabilmektedir. Leke algılama aşamasında basit bir yapıya sahip olmasından dolayı  $AGA\hat{I}_a$  yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca bu yöntem vektör-değerli (renkli) imge dizilerine de kolay bir şekilde uyarlanabilmektedir. Onarma aşamasında kullanılan zaman-uzamsal örnek-tabanlı teknikler, imgenin yapısına bağlı olarak doku senteziyle imgedeki eksik bilgileri doldurma işlemini başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Çünkü kaynak bölgelerdeki özgün piksel değerleri imgenin geometrik yapısı dikkate alınarak içboyama bölgesine herhangi bir ara işlem yapılmadan doğrudan kopyalanmaktadır. Böylece imgenin özgün yapı ve dokusu da korunmuş olmaktadır.



Şekil 2.1. Önerilen yöntemin akış şeması

## 2.2. İmge Dizilerinde Gürültü Azaltma

İmge ve imge dizilerinde gürültü azaltmak için Gauss süzgeçleme [59], yönbağımlı süzgeçleme [60], toplam değişim [61], komşuluk bölgesi [62], Wiener süzgeçleme [63], ötelemeli değişimsiz dalgacık eşikleme [64] ve bulanık mantığa dayalı uyarlanırlı imge süzgeçleri [65] gibi birçok yöntem geliştirilmiştir. Fakat bu algoritmaların çoğu imgedeki frekans bileşenlerine göre gürültü azaltması yaptığından dolayı imgedeki ince ayrıntıların yok etmekte, imge yapısını ve dokusunu bulanıklaştırmaktadır. Yerel olmayan-ortalamalar yönteminde [66] ise, bu varsayımların yerine, diğer piksellerle yürürlükteki pikselin yerel komşuluk bölgelerindeki benzerliklerini yansıtan ağırlıklar ile diğer imge piksellerinin ağırlıklı ortalamasıyla hesaplanan yeni yeğinlik değeri, yürürlükteki pikselin gürültüsü azaltılmış değerini vermektedir. Böylece imge bulanıklaştırılmadan gürültü azaltma işlemi yapılmış olmaktadır.

### 2.2.1. Yerel Olmayan-Ortalamalar Yöntemi

Çoğu imgeler az da olsa gürültü içermektedir. Bu gürültüler fotoğraf makinesiyle resim çekilirken, kamerayla kayıt yapılırken, TV yayınlarından video yakalanırken veya eski sinema filmlerinde uygunsuz saklama koşullarındaki bozulmalardan dolayı imgede istemeyerek ortaya çıkar. Gürültü azaltma yöntemleri imgedeki bu bozukluğu yok etmeye çalışır.

Geliştirilen birçok yöntemde gürültü azaltmadaki varsayımlar imge verisini bulanıklaştırmaya yol açmaktadır. Fakat yerel olmayan-ortalamalar yöntemi, diğer yöntemlerdeki benzer varsayımlar yerine, imgede her bir küçük imge parçasına benzeyen diğer imge parçaları vardır yaklaşımını kullanmaktadır. Çoğu gürültü azaltma yöntemlerinde,

- bir gürültü modeli ve
- yerel veya global olarak genel bir imge düzlük modeli

kullanılır. Gürültü modelinde herhangi bir sorun yoktur; fakat yöntemlerinin başarısızlığı imge modelinin yetersiz oluşundan kaynaklanmaktadır. İmgedeki beyaz gürültü varsayımında, gürültü düşük ve yüksek frekansların hepsini içerir. Gürültü yüksek frekans içerdiğinden salınımlıdır veya düzgün dağılımlı değildir. Diğer bir varsayımda ise, gürültü

içermeyen imge, düzgün veya parçalı düzgündür. Başka bir ifadeyle, özgün imge veya imge parçaları yalnızca düşük frekansları içerir [66].

Çoğu yöntemlerde, daha düşük frekanslardan daha yüksek frekanslar ayrıştırılarak; imge, düzgün kısım (özgün imge) ve salınımlı kısım (gürültü) olarak ayrılmaya çalışılmıştır. Fakat imge düzgün içerikli olmayabilmektedir. Ayrıca imge yüksek frekanslara sahip ince ayrıntı ve yapılar da içerebilir. Özgün imge ile gürültü arasındaki fark dikkate alınmaksızın imgedeki yüksek frekanslar yok edildiğinde, özgün imgenin yüksek frekans içeren bilgileri de gürültü ile birlikte yok edilecektir. Sonuçta gürültüsü azaltılmış imgede bulanıklaşma meydana gelecektir. Ayrıca düşük frekanslı gürültülerinin yok edilmesi için de hiçbir işlem yapılmadığından, gürültü azaltma yapılsa bile düşük frekanslı gürültüler imgede kalacaktır. Bu yüzden imgedeki detay kayıplarının engellenmesi için yerel olmayan-ortalamalar yöntemi geliştirilmiştir.

Yerel olmayan-ortalamalar yönteminde ise farklı bir yaklaşım sergilenmiştir. İmgedeki gürültüyü azaltmak için doku sentezleri yöntemlerinde [17] kullanılan benzerlik bilgisinden yararlanılmıştır. İmgede benzerlik (düzleşim) bilgisi içeren parçalara örnek olarak Şekil 2.2 verilebilir. Şekil 2.2’de,  $\mathbf{p}$ ,  $\mathbf{q}_1$  ve  $\mathbf{q}_2$  olmak üzere üç piksel ve onların ayrı ayrı komşuluk bölgeleri gösterilmiştir.  $\mathbf{p}$  ve  $\mathbf{q}_1$  piksellerinin komşuluk bölgesi benzerdir; ama  $\mathbf{p}$  ve  $\mathbf{q}_2$  piksellerinin komşuluk bölgesi benzer değildir. Komşu pikseller benzer komşuluk bölgelerine sahip olabildiği gibi, imge yapısından dolayı komşu olmayan pikseller de benzer komşuluk bölgelerine sahip olabilmektedir. Örneğin,  $\mathbf{p}$  noktasındaki gibi, imgede dikey yöndeki piksellerin çoğu,  $\mathbf{p}$ ’in komşuluk bölgesiyle benzer komşuluk bölgelerine sahiptir. Bu yüzden benzerlik bilgisi varsayımı gürültü azaltmada da kullanılabilir. Benzer komşuluk bölgesi pikseller, yürürlükteki pikselinin gürültüsüz değerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

Her bir  $\mathbf{p}$  pikseli için gürültüsü azaltılmış imgenin yerel olmayan-ortalamaları aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$\tilde{I}(\mathbf{p}) = \sum_{\mathbf{q} \in \mathcal{B}} w(\mathbf{p}, \mathbf{q}) I(\mathbf{q}) \quad (2.2)$$

Formüldeki  $w(\mathbf{p}, \mathbf{q})$  ağırlık katsayıları aşağıdaki koşulu sağlamalıdır:



$$0 \leq w(\mathbf{p}, \mathbf{q}) \leq 1, \quad \sum_{\mathbf{q}} w(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = 1 \quad (2.3)$$



Şekil 2.2. Yerel olmayan-ortalamalar yöntemi. Benzer komşuluk bölgesi piksellerden  $w(\mathbf{p}, \mathbf{q}_1)$  gibi büyük değerli ağırlıklar elde edilirken, çok daha farklı komşuluk bölgelerinden  $w(\mathbf{p}, \mathbf{q}_2)$  gibi küçük değerli ağırlıklar elde edilecektir. Yeşil renkle işaretli bölge piksel komşuluk bölgeleri ve sarı renkle işaretli bölge ise kaynak (arama) bölgesidir

Aslında her bir piksel, imgedeki bütün piksellerin ağırlıklı bir ortalamasıdır. Ağırlıklar,  $\mathbf{p}$  ve  $\mathbf{q}$  piksellerinin komşuluk bölgelerinin aralarındaki benzerliğe bağlıdır. Örneğin, Şekil 2.2'deki  $w(\mathbf{p}, \mathbf{q}_1)$  ağırlığı,  $w(\mathbf{p}, \mathbf{q}_2)$  ağırlığından daha büyük değerlidir. Çünkü  $\mathbf{p}$  ve  $\mathbf{q}_1$  pikselleri benzer komşuluk bölgelerine sahipken,  $\mathbf{p}$  ve  $\mathbf{q}_2$  farklı komşuluk bölgelerine sahiptir. Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, iki piksel arasındaki benzerlik hesaplamasında  $Q$  komşuluk bölgesi dikkate alınır. Komşuluk bölgelerindeki pikseller arasındaki Gauss ağırlıklı uzaklık aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır (Şekil 2.4):

$$d(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \sum_{\ell \in Q} G_a(\ell) (I(\mathbf{p} + \ell) - I(\mathbf{q} + \ell))^2 \quad (2.4)$$

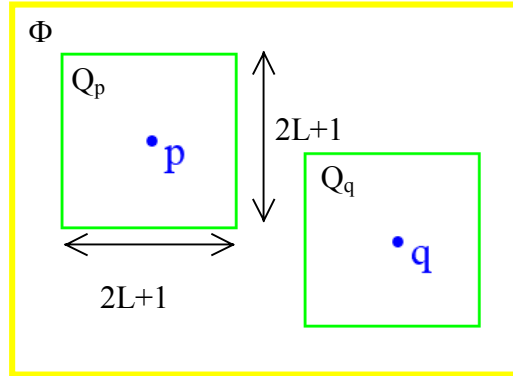
Burada  $G_a$ , standart sapması  $a$  olan iki boyutlu bir Gauss ağırlık süzgeci,  $Q$  komşuluk bölgesi ve  $\ell$  komşuluk bölgesindeki uzamsal konumlardır. Ağırlıklar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$w(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \frac{1}{J(\mathbf{p})} e^{-\frac{d(\mathbf{p}, \mathbf{q})}{h^2}} \quad (2.5)$$

Buradaki  $J(\mathbf{p})$  düzgeleme sabiti aşağıdaki gibi alınır:

$$J(\mathbf{p}) = \sum_{\mathbf{q}} e^{-\frac{d(\mathbf{p}, \mathbf{q})}{h^2}} \quad (2.6)$$

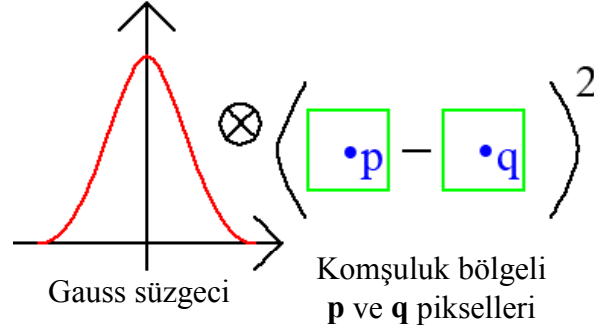
$h$ , üstel azalmayı kontrol eden bir parametredir.



Şekil 2.3. Yerel olmayan-ortalamalar yönteminde komşuluk bölgeleri:  $Q_p$  ve  $Q_q$  sırasıyla  $p$  ve  $q$  piksellerinin komşuluk bölgeleri,  $L$  bu bölgelerin yarıçapı ve  $\Phi$  ise, imgedeki kaynak (arama) bölgesidir

Yöntemde  $q = p$  olduğunda özel bir durum söz konusudur. Çünkü her bir komşuluk bölgesi kendisine benzediğinden,  $w(\mathbf{p}, \mathbf{p})$  ağırlığı imgedeki diğer piksellerin ağırlıklarından çok daha büyük olacaktır. Bu durumda aşağıdaki ifade dikkate alınır:

$$w(\mathbf{p}, \mathbf{q}) = \max\{w(\mathbf{p}, \mathbf{q}) | \mathbf{p} \neq \mathbf{q}\} \quad (2.7)$$



Şekil 2.4. Gauss ağırlık süzgeciyle komşuluk bölgelerindeki piksellerin karesel farklarının evriştirilerek **p** ve **q** pikselleri arasındaki  $w(\mathbf{p}, \mathbf{q})$  ağırlığının hesaplanması

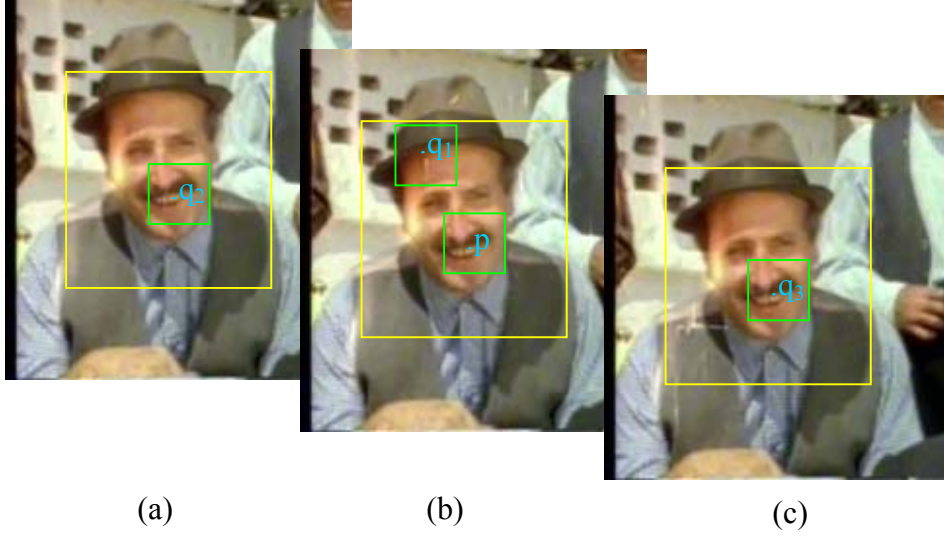
Yerel olmayan-ortalamalar yönteminde kullanılan üç parametrenin ayarlamasının iyi yapılması gerekmektedir. Birinci parametre  $h$ , üstel azalmayı kontrol eden parametredir. Eğer  $h$  değeri çok küçük alınırsa yeterli düzeyde gürültü yok edilemez, çok büyük olursa da imge bulanıklaştırılır. İmge, standart sapması  $\sigma$  olan bir beyaz gürültü içeriyorsa  $h$ ,  $10\sigma$  ile  $15\sigma$  arasında bir değere ayarlanmalıdır.

İkinci parametre  $L$ , iki piksel arasındaki benzerlikleri bulmak için kullanılan komşuluk bölgelerinin yarıçapıdır.  $L$  çok büyük seçilirse, komşuluk bölgelerinde benzerlik bulunamayacak, küçük olursa da çok fazla benzer komşuluk bölgeleri elde edilecektir.  $L$ 'nin genel değerleri 3 veya 4 alırsa, sırasıyla  $7 \times 7$  veya  $9 \times 9$  boyutlarında komşuluk bölgeleri oluşturulacaktır.

Üçüncü parametre ise, arama bölgesinin yarıçapıdır ve genelde 7 veya 9 alınır. Bu durumda, arama (kaynak) bölgeleri, sırasıyla  $15 \times 15$  veya  $19 \times 19$  boyutlarında olacaktır.

Şekil 2.5'de gösterildiği gibi, yerel-olmayan ortalamalar yöntemi statik bir süzgeç olarak imge dizilerine de uygulanabilir. Başka bir ifadeyle yöntem, iki boyutlu bir süzgecin zaman boyutuna genişletilmiş hali olduğundan, imge dizisinin dinamik özelliği doğrudan dikkate alınmaz [37]. Hareket kestirim yöntemleri açıklık sorununu çözmeye çalışır. Blok eşleştirme yöntemleri oldukça benzer piksel bloklarını arar. Bu durumda imgedeki birçok ilgili öznitelikler dikkate alınmamaktadır. Optik akış yöntemleri ise, tek bir hareket gezinesini seçmek için akış alanının düzenlilik durumundan yararlanır. Sonuçta, hareket kestirim yöntemleri olası bütün eşit iyi seçimler arasından en iyi adayı seçmeye çalışır.

İmge dizilerindeki bu sorun, yerel olmayan-ortalamalar kullanılarak aslında bir avantaja dönüştürülmüştür. Referans pikselden çok uzakta da olsa benzer özellikli pikseller dikkate alındığından ağırlıklar da hareket gezingesini izler. Yerel olmayan-ortalamalar yöntemi, hareket etseler dahi hareket dengelemesi yapmadan benzerlik bölgelerini izleyebilmektedir. Bu yüzden, herhangi bir açıklık sorununu da çözmeye gerek yoktur ve sadece benzer yerel komşuluk bölgelerindeki bütün piksellerin ortalaması alınmaktadır.



Şekil 2.5. Yerel olmayan ortalamalar yönteminin ardışık çerçevelere uygulanması: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçeveler. Dikkat edilirse yürürlükteki  $p$  pikseli için, bir önceki ve bir sonraki çerçevelerde  $q_2$  ve  $q_3$  gibi oldukça benzer komşuluk bölgeleri bulunmaktadır

### 2.3. Hareket Kestirimi

Blok eşleştirmeli kestirim yöntemleri MPEG-1/2/4 ve H.261/263 gibi video kodlama sistemlerinde ve standartlarında, birçok imge dizisi onarma yöntemlerinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Hareket kestirimi ve dengelemesi yapılarak video dizisinde çerçeveler arasındaki zamansal ilinti bulunabilir ve böylece video dizileri işlenebilir ve ayrıca kaliteli bir sıkıştırma başarımı da sağlanabilir.

Blok eşleştirmeli arama yönteminde en iyi eşleştirilen bloğu bulmak için genelde OMF ölçeği kullanılır. Blok eşleştirmeli tam arama (TA) yöntemi olası bütün blokların tamamında arama yaparak en iyi çözümü bulmaya çalışır; fakat bu yöntem oldukça fazla

hesaplama işlemi gerektirdiğinden, yöntemin gerçek zamanlı video uygulamalarında kullanılması oldukça güçleşmektedir. Bu yüzden karo arama (KA) [67] yöntemi, üç-adım arama [68], 2-B log arama [69], yeni üç-adım arama [70] gibi hızlı arama yöntemlerine karşı hem hesapsal karmaşıklığı daha az hem de başarımı iyi olduğundan MPEG-4 gibi birçok video standartlarında kullanılmaya başlanmıştır.

Fakat [71]'de belirtildiği gibi KA yöntemi, TA yöntemine karşı kalite bakımından da fazla bir düşüş olmaksızın çoğu durumlarda karmaşıklığı önemli derecede azaltmasına rağmen, bazen iyi bir performans gösterememektedir. Örneğin, önemli global hareketlerde, sahne değişimlerinde ve genelde de doğru bir kestirim yapmadığı belirtilmektedir.

Öngörücü Karo Arama (ÖKA) yöntemi, KA yöntemi gibi benzer karmaşıklığa sahip olmasına rağmen, bu yöntemde KA yöntemi biraz daha iyileştirilerek daha fazla üstünlük ve doğru bir kestirim kalitesi elde edilmiştir [72].

### 2.3.1. Karo Arama

KA yöntemi, hareket vektörleri genelde arama merkezi eğilimlidir varsayımına dayanır [70]. Bu yüzden yöntem, Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, 9 denetleme noktasını inceleyerek her zaman arama bölgesinin merkezinden aramaya başlar. Eğer minimum merkezde bulunursa, daha sonra 4 ilave denetleme noktasında inceleme yapılır (Şekil 2.6.b)) ve arama sonuçlanır. Diğer durumlarda, yürürlükteki minimumun (Şekil 2.6.c) – d)) konumuna bağlı olarak ilave noktalar incelenir. Oluşturulan yeni geniş karo bölgesinin merkezi olarak yürürlükteki minimum dikkate alınır ve minimum merkezde bulununcaya kadar işleme devam edilir. Eğer minimum merkezde bulunursa tekrar daha küçük karo bölgesi (dört ilave denetleme noktası) incelenir ve arama bitirilir.

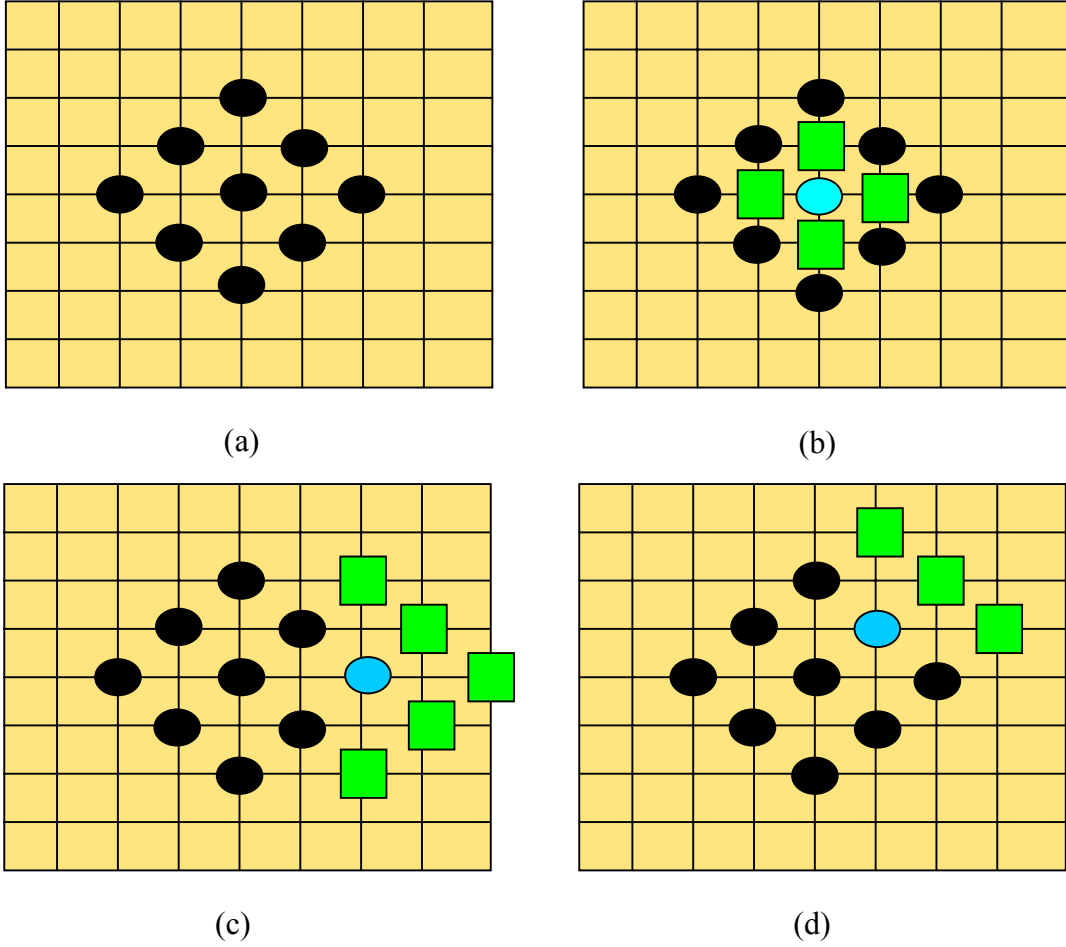
[73]'de belirtildiği gibi, yöntemde bazı önemli sakıncalar vardır. Yöntemin performansını yeterince iyileştirmek için, yönteme ilave öngörücü adım eklenerek bu sakıncalar ortadan kaldırılmıştır [72, 74].

### 2.3.2. Öngörücü Karo Arama

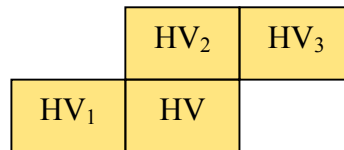
Çoğu video kodlama standartlarında hareket vektörleri, öngörülenmiş bir hareket vektörüne (HV) bağlı olarak farklı şekilde kodlanır. Çünkü komşu bloklar ve bu blokların hareket vektörleri genellikle yüksek bir ilintiye sahiptir. Bu teknik hareket vektörlerinin önemli derecede bit gereksinimlerini azaltabilir ve böylece sıkıştırma kalitesini artırabilir. MPEG-1/2'de bu öngörülenmiş HV bir önceki bloğun hareket vektörü olarak alınırken, H.263 ve MPEG-4 gibi kodlama standartlarında üç komşu bloğun HV'lerinin ortanca değeri kullanılır (Şekil 2.7). Ayrıca hareket vektörleri arasındaki bu ilinti, imge dizisindeki gürültüye karşı doğruluklu bir hareket kestirimi için de kullanılabilir.

Açıkça görüldüğü gibi, KA yöntemi komşu HV'leri arasındaki ilintiyi dikkate almaz. Öngörücü KA'da, ilk adımda arama bölgesinin merkezini incelemek yerine, arama bölgesinin merkezi olarak ilk önce öngörülenmiş hareket vektörü dikkate alınır ve hareket vektörünün öngörücüye yakın bir konumda olup olmadığı geniş karo modeli (Şekil 2.6.a)) kullanılarak incelenir. Eğer minimum öngörüyle aynı olarak bulunursa, daha sonra küçük karo modeli (Şekil 2.6.b)) kullanılarak en son dört nokta, öngörü etrafındaki son hareket vektörünü eniyilemek için incelenir. Bu teknik önemli derecede hareket vektörleri arasındaki ilintiyi göz önüne alır ve böylece gürültüye karşı da hatalı hareket vektörü kestirimi yapılmamış olur.

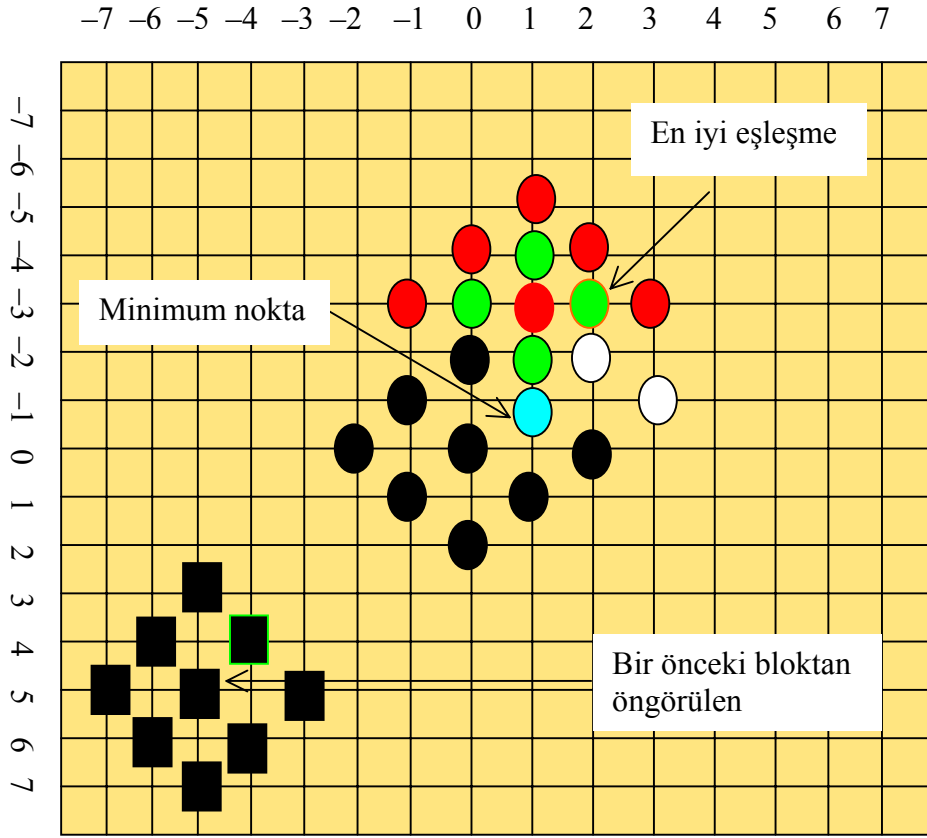
Eğer minimum, ilk adımda öngörüyle aynı olarak bulunamazsa, arama tekrar yürürlükteki blok merkezine taşınır ve en iyi eşleştirme karo modelinin merkezinde bulunuluncaya kadar özgün KA yöntemi kullanılır (Şekil 2.8.a)). Bu, özgün öngörünün hatalı olduğu, örneğin blokların farklı yönlerde hareket eden nesne kenarlarını içeriyor olması veya durağan arkaplan gibi durumlara önemli derecede yardımcı olur. Arama işlemi blok merkezine kaydırıldığı halde, dokuz nokta incelendikten sonra, minimum daha önceden incelenen öngörü etrafında ise, tekrar öngörüye geri dönülür ve yürürlükteki en iyi eşleştirme etrafında küçük karo modelini kullanan ilave dört nokta incelenir ve arama bitirilir ( Şekil 2.8.b)).



Şekil 2.6. Karo arama yöntemi: (a) Geniş karo arama modeli ve minimum noktanın (b) arama merkezinde, (c) köşede ve (d) kenarda elde edilmesi durumlarında bir sonraki adıma ilave edilecek arama noktaları



Şekil 2.7. MPEG-4 ve H.263 standartlarındaki hareket vektörleri, HV: Yürürlükteki bloğun hareket vektörü, HV<sub>1</sub>: Bir önceki bloğun hareket vektörü, HV<sub>2</sub>: Üst bloğun hareket vektörü ve HV<sub>3</sub>: Üste sağdaki bloğun hareket vektörü

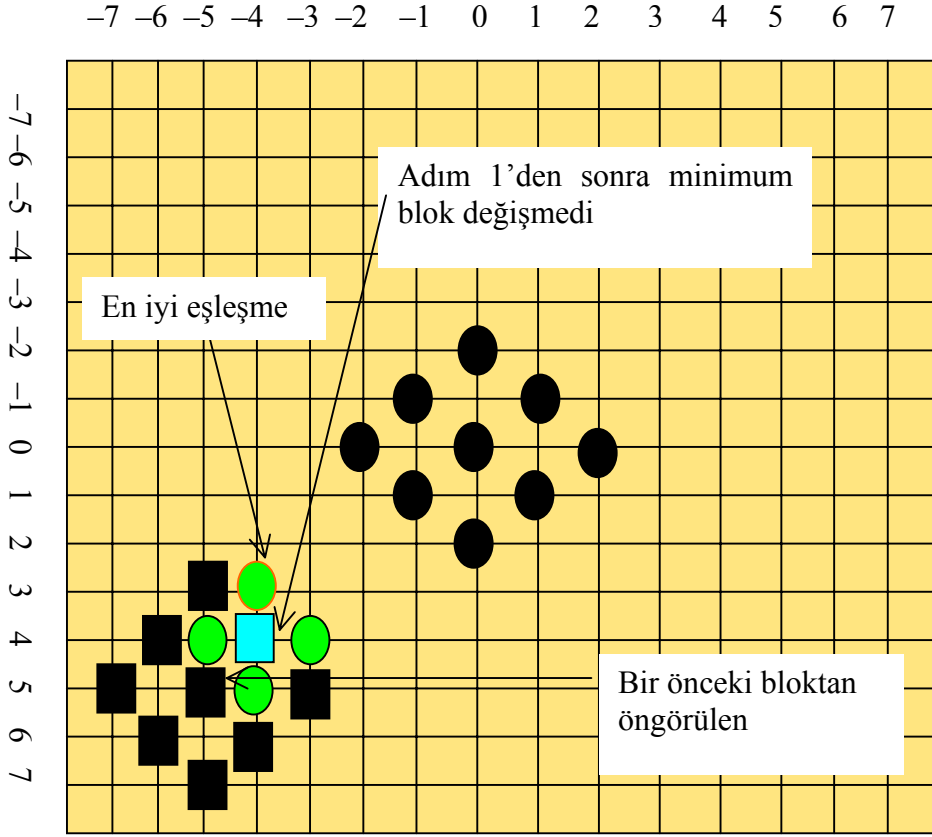


(a)

Şekil 2.8. Öngörücü karo arama yöntemi: (a) Minimumun öngörüyle aynı olarak bulunamaması ve arama işleminin tekrar yürürlükteki blok merkezine taşınması ve (b) minimumun daha önceden incelenen öngörü etrafında bulunması



Şekil 2.8'in devamı



(b)

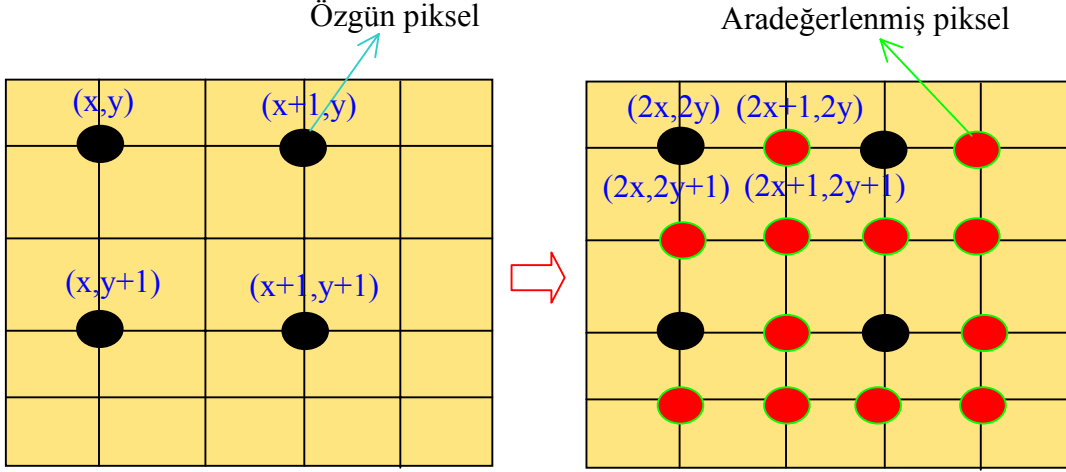
Ayrıca iki yönlü aradeğerleme yöntemi kullanılarak alt-piksel doğruluğu ile hareket vektörleri daha iyi kestirilebilmektedir. Aradeğerlenmiş pikseller aşağıdaki gibi hesaplanır (Şekil 2.9):

$$\tilde{I}(2x, 2y) = I(x, y) \quad (2.8)$$

$$\tilde{I}(2x+1, 2y) = \frac{I(x, y) + I(x+1, y)}{2} \quad (2.9)$$

$$\tilde{I}(2x, 2y+1) = \frac{I(x, y) + I(x, y+1)}{2} \quad (2.10)$$

$$\tilde{I}(2x+1,2y+1) = \frac{I(x,y) + I(x+1,y) + I(x,y+1) + I(x+1,y+1)}{4} \quad (2.11)$$



Şekil 2.9. Alt-piksel doğruluklu iki yönlü aradeğerleme yöntemi

### 2.3.3. Sahne Geçişlerinin Algılanması

İki yönlü hareket kestirimi yapıldığında otomatik olarak filmdeki sahne geçişleri algılanmakta ve ayrıca çerçeveler arası örtüşme sorunu da ortadan kaldırılmış olmaktadır [75]. Fakat bu çalışmada hareket kestirimi iki yönlü yapılmadığından, sahne geçişleri komşu bloklardaki geri veya ileri zamansal yöndeki hareket vektörleri değerlendirilerek algılanmıştır. Komşu bloklardaki hareket vektörleri ile yürürlükteki bloğun hareket vektörü arasındaki farkların toplamı, komşu bloklarının sayısına bölünerek yürürlükteki blok ile komşu bloklar arasında bir fark değeri elde edilir. Bu işlem yürürlükteki çerçevede her bir blok için yapılır. Daha sonra her bir blok için elde edilen fark değerleri ön tanımlı bir  $T_1$  eşiğiyle karşılaştırılır ve bu eşikten büyükse başlangıç değeri sıfır olan bir sayaç değişkeninin değeri birer artırılır. Sonuçta elde edilen sayaç değeri tekrar ön tanımlı bir  $T_2$  eşiğiyle karşılaştırılır ve bu eşikten büyükse sahne geçişi olduğu varsayılır.

### 2.3.4. Hareket Vektörü Onarma İşlemleri

Eğer imge leke gibi bozukluklar içeriyorsa, hareket vektörleri hatalı kestirilecektir. Bu durumda, hareket dengelemeli referans çerçevelerden elde edilen referans verileriyle eksik bölgelerin aradeğerlemeyle doldurulması hataya yol açabilecektir. Hareket vektörleri onarılarak doğru referans verilerini elde etme olasılığı biraz daha iyileştirilebilir. Hareket vektörü onarma, sayısal video iletiminde hata giderilmesinde de kullanılmaktadır.

Hareket vektörünü onarmak için literatürde birçok çalışma yapılmaktadır. Doğru olarak kestirilen komşu hareket vektörlerinden aradeğerleme yapılarak hatalı hareket vektörleri yeniden kestirilebilir. Bu amaç için ortanca ve ortalama süzgeçleri kullanılabilir [76]. Diğer yaklaşım ise hareket vektörlerini imge yeğliliklerine bağlı yeniden kestirmektir. Yöntemlerde [77-78] komşu imge blokları arasında sınırdaki piksellerin ilintisi dikkate alınmaktadır. Hatalı hareket vektörü, komşu bloklarda sınırdaki piksellerin imge yeğliliklerinin ortalama kare hatası en küçüklenerek bulunan yeni bir vektörle değiştirilir. [35]'deki yaklaşımda bozulmuş imge bloklarının hareketi yeniden kestirilmiştir. Hareket kestirim işlemi bozulmuş pikselleri ayırır ve hareket vektörlerini düzgünlüğe zorlar.

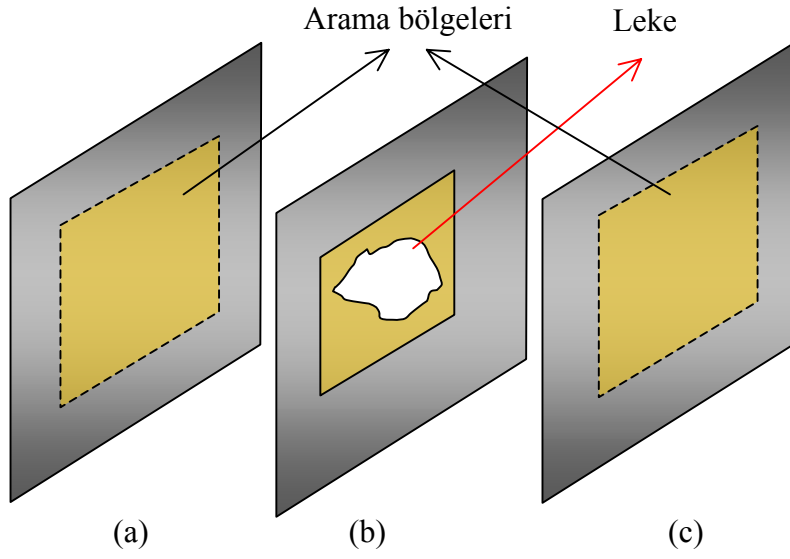
[79]'da birinci yöntemde hatalı hareket vektörleri, genleşme aradeğerleme yöntemi kullanılarak yeniden kestirilmiştir. İkinci yöntemde [79], gözlemlenen imge yeğliliklerine bağlı olarak hareket vektörleri yeniden bulunmuştur. Şekil 2.10'da gösterildiği gibi, bozuk bölge ilk önce, yatay ve düşey yönde birazcık kenar boşlukları içerecek şekilde bir blok içersine alınır. Daha sonra bir önceki ve bir sonraki çerçevelerde blok eşleştirme yöntemiyle en uygun eşleştirme aranır. Lekeli veriden dolayı meydana gelecek hatalardan kaçınmak için, blok eşleştirici yürürlükteki ve referans çerçevedeki bozulmuş pikselleri göz ardı eder. Hesapsal yoğunluk sebebiyle, arama uzaklığı düşey ve yatay yönde  $\pm 20$  piksel ile sınırlandırılmıştır. Üçüncü yöntemde [79] ise, lekeli bölgedeki hareket vektörlerine sıfır hareket değeri atanarak, bu bölgede hareket yokmuş gibi kabul edilmiştir. Aslında imgenin geniş bir kısmı zamansal olarak durağan olduğu varsayılabilir ve çoğu durumlarda hareket olmadığı varsayımı doğru olabilir [79].

Lekeli bölgelerde hatalı olarak kestirilen hareket vektörleri zamansal süreklilik özelliği dikkate alınarak daha doğruluklu kestirilebilir. Çünkü hem kamera hareketi hem de nesne hareketi, eğer imge dizisinde sahne değişimi yoksa ani bir değişikliğe uğramaz. Örneğin Şekil 2.11'de gösterildiği gibi,  $\mathbf{p} = (x, y)$  uzamsal konumdaki imge bloğu ile bir

önceki ve bir sonraki çerçevelerdeki aynı zamansal konumdaki imge bloklarının hareket vektörleri arasında aşağıdaki gibi zamansal bir ilinti olabilir:

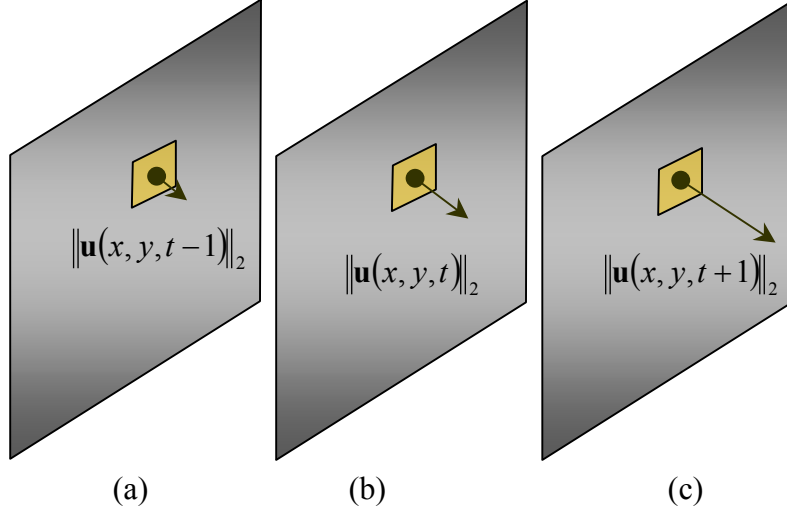
$$\mathbf{u}(x, y, t+1) = \mathbf{u}(x, y, t) + (\mathbf{u}(x, y, t) - \mathbf{u}(x, y, t-1)) \quad (2.12)$$

$$\mathbf{u}(x, y, t) = \frac{\mathbf{u}(x, y, t+1) + \mathbf{u}(x, y, t-1)}{2} \quad (2.13)$$



Şekil 2.10. Lekeli bölge için hareket vektörünün kestirilmesi: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçeveler

Komşu imge bloklarının hareket vektörleri arasındaki uzamsal veya zamansal ilinti lekeli imge dizileri için de kullanılabilir. Belki hatalı hareket vektörlerinin yeniden kestirimi yapılırken yeğinlik sabitliği her zaman olmayabilir; fakat daha doğruluklu doldurma işlemi için gerekli bir çözüm olmaktadır.



Şekil 2.11. Ardışık çerçevelerde hareket vektörlerinin zamansal sürekliliği:  
 (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçevelerdeki imge bloğunun hareket vektörleri

[43]'de önerilen kabul eşiği yöntemi, eğer imge büyük boyutlu lekeler içeriyorsa hareket kesitiriminde başarısızlıkla sonuçlanmaktadır. Bu durumda, Şekil 2.12'de görüldüğü gibi, yürürlükteki imge bloğunun ve 8 komşu imge bloklarının hareket vektörlerine bağlı olarak yürürlükteki bloğun hareket vektörünün doğru olarak kestirilip kestirilmediği aşağıdaki ifade ile bulunabilir:

$$HV(x, y, t-1) = \frac{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 d(i, j) \sqrt{u_a(x+k \times i, y+k \times j, t-1)^2 + v_a(x+k \times i, y+k \times j, t-1)^2}}{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 d(i, j)} \quad (2.14)$$

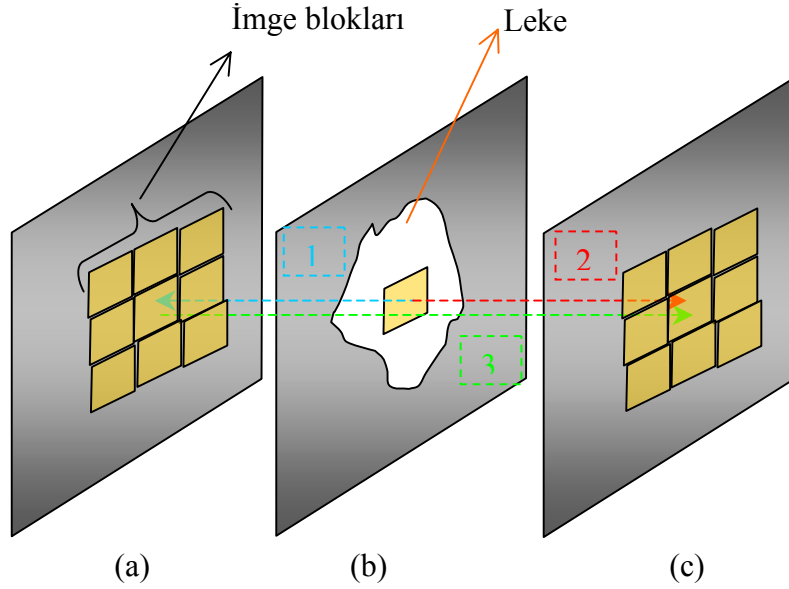
Burada  $\mathbf{u}_a = (u_a, v_a)$ , 3 numaralı ok ile gösterilen bir çerçeve atlamalı ileri zamansal yöndeki hareket vektörüdür ve  $d(i, j)$  ise aşağıdaki ifadeyle hesaplanır:

$$d(i, j) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } i = 0 \text{ ve } j = 0 \text{ ise} \\ (i^2 + j^2)^{1/2} & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.15)$$

Daha sonra 2 numaralı ok ile gösterilen ileri zamansal yöndeki hareket vektörünün uzunluğu,

$$HV(x, y, t) = \|\mathbf{u}(x, y, t)\|_2 = \sqrt{u(x, y, t)^2 + v(x, y, t)^2} \quad (2.16)$$

ifadesiyle elde edildikten sonra; eğer  $2HV(x, y, t) > HV(x, y, t-1)$  ise, 2 numaralı ok ile gösterilen ileri zamansal yönündeki hareket vektörü hatalı kestirilmiştir demektir. Aynı işlemler 1 numaralı ok ile gösterilen geri zamansal yönde de tekrarlanır.

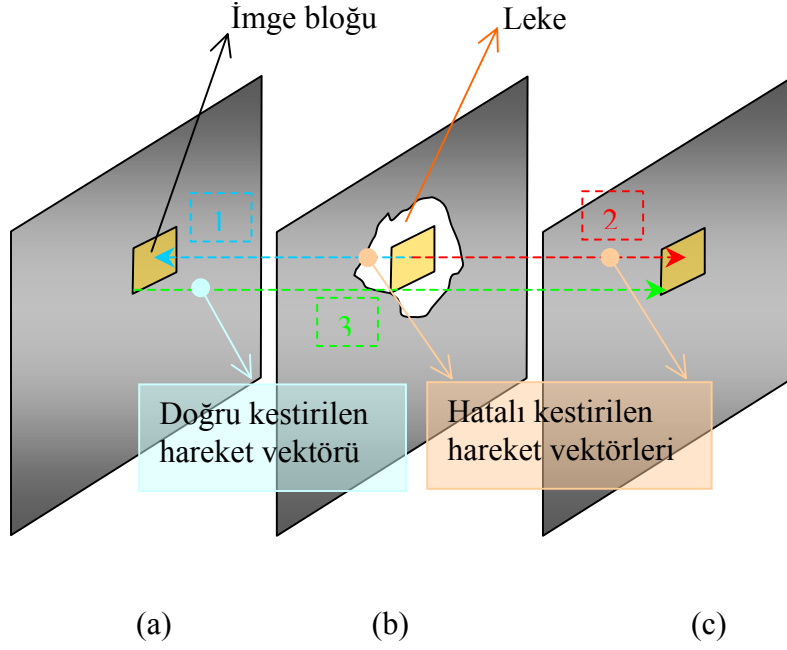


Şekil 2.12. Kestirilen hareket vektörünün hatalı kestirilip kestirilmediğinin algılanması: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçeveler

Şekil 2.13'de görüldüğü gibi, yürürlükteki imge bloğu lekeli bir bölgede olduğu için bu bloğun 1 numaralı ok ile gösterilen geri ve 2 numaralı ok ile gösterilen ileri zamansal yönlerdeki hareket vektörleri hatalı bir şekilde kestirilecektir. Fakat bir önceki çerçeve zaten onarıldığı için, 3 numaralı ok ile gösterilen bir önceki çerçeveden bir sonraki çerçeveye yapılan hareket kestirimi doğruluklu sonucu vereceğinden yürürlükteki bloğun 2 numaralı ok ile gösterilen ileri zamansal yöndeki hareket vektörü aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$\mathbf{u}(x, y, t) = \frac{\mathbf{u}_a(x, y, t-1)}{2} \quad (2.17)$$

Aynı işlem 1 numaralı ok ile gösterilen geri zamansal yön için de yapılır. Böylece lekeli bölgelerdeki imge bloklarının hareket vektörleri, çerçeveler arası zamansal ilintiye bağlı olarak bulunmuş olur.



Şekil 2.13. Bozukluk içeren çerçevelerde hareket kestirimi: (a) Bir önceki onarılmış çerçevede, (b) yürürlükteki onarılacak çerçevede ve (c) bir sonraki onarılacak çerçevelerde hareket vektörlerinin kestirilmesi

#### 2.4. İmge Dizilerinde Leke Algılama

Gri düzeyli imge dizilerinde leke algılamak için kullanılan Denklem 1.44 ve 1.45, renkli imge dizileri için tekrar düzenlendiğinde; yürürlükteki çerçevede  $\mathbf{p} = (x, y, t)$  noktasındaki  $I(\mathbf{p})$  vektör-değerli bir pikselinin bozukluk içerip içermediğini algılamak için aşağıdaki gibi bir eşik işlemi kullanılabilir (Şekil 2.14):

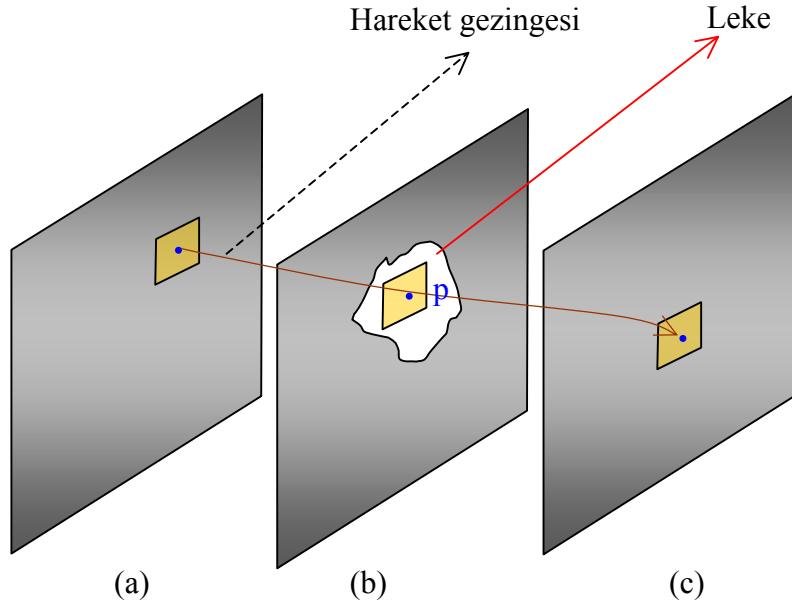
$$\varepsilon(x, y, t \pm 1) = \|\mathbf{I}(\mathbf{p}) - \hat{\mathbf{I}}(x, y, t \pm 1)\|_1 = \sum_{i=1}^c |I_i(\mathbf{p}) - \hat{I}_i(x, y, t \pm 1)| \quad (2.18)$$

veya

$$\varepsilon(x, y, t \pm 1) = \|\mathbf{I}(\mathbf{p}) - \hat{\mathbf{I}}(x, y, t \pm 1)\|_2^2 = \sum_{i=1}^c (I_i(\mathbf{p}) - \hat{I}_i(x, y, t \pm 1))^2 \quad (2.19)$$

$$A_{AGAI_a}(\mathbf{p}) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } \varepsilon(x, y, t \pm 1) > T \\ 0 & \text{diğer durumlarda} \end{cases} \quad (2.20)$$

Burada  $\hat{I}_i(\mathbf{p})$  hareket dengelemesi yapılmış bir pikseli göstermektedir. İleri ve geri yöndeki hareket-dengeli çerçeve farklarının her ikisi ön tanımlı bir  $T$  eşliğinden daha büyükse piksel bozulmuş olarak işaretlenir. Ayrıca AGAI<sub>a</sub> yöntemi zamansal süreksizlikler için en basit yapıya sahip bir algılayıcıdır [46].



Şekil 2.14. AGAI<sub>a</sub> yöntemi: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçevelerde hareket gezinesine bağlı olarak  $\mathbf{p}$  noktasındaki pikselin bozuk olup olmadığının belirlenmesi



## 2.5. İmge Dizilerinde Leke Onarma

İmge ve imge dizilerini onarma işlemlerindeki asıl amaç, imgenin özgün yapısını ve dokusunu bulanıklaştırmadan imgeyi iyileştirmektir. İmge onarılırken imgenin geometrik yapısı ve dokusu dikkate alınmak zorundadır. Şekil 2.15.a) ve b)'de, sırasıyla imgedeki bazı doku bölgeleri ve vektör işleçleri farkı (VİF) yöntemiyle [65] elde edilen imgenin geometrik yapısı (kenar bilgisi) verilmiştir. VİF yönteminde yürürlükteki piksel penceresine evrişim uygulanarak olası dört yöndeki ( $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$  ve  $135^\circ$ ) gradyanlar bulunur. Daha sonra, imgedeki kenarları bulmak için maksimum gradyan vektörüne bir eşik uygulanabilir. Gradyanlar aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\|\nabla I_{0^\circ}\| = \left\| I(\mathbf{q}_{0^\circ}) - I(\mathbf{p}_{0^\circ}) \right\|_2^2 = \sum_{i=0}^c (I_i(\mathbf{q}_{0^\circ}) - I_i(\mathbf{p}_{0^\circ}))^2 \quad (2.21)$$

$$\|\nabla I_{90^\circ}\| = \left\| I(\mathbf{q}_{90^\circ}) - I(\mathbf{p}_{90^\circ}) \right\|_2^2 = \sum_{i=0}^c (I_i(\mathbf{q}_{90^\circ}) - I_i(\mathbf{p}_{90^\circ}))^2 \quad (2.22)$$

$$\|\nabla I_{45^\circ}\| = \left\| I(\mathbf{q}_{45^\circ}) - I(\mathbf{p}_{45^\circ}) \right\|_2^2 = \sum_{i=0}^c (I_i(\mathbf{q}_{45^\circ}) - I_i(\mathbf{p}_{45^\circ}))^2 \quad (2.23)$$

$$\|\nabla I_{135^\circ}\| = \left\| I(\mathbf{q}_{135^\circ}) - I(\mathbf{p}_{135^\circ}) \right\|_2^2 = \sum_{i=0}^c (I_i(\mathbf{q}_{135^\circ}) - I_i(\mathbf{p}_{135^\circ}))^2 \quad (2.24)$$

$$VIF = maks \left\{ \|\nabla I_{0^\circ}\|, \|\nabla I_{90^\circ}\|, \|\nabla I_{45^\circ}\|, \|\nabla I_{135^\circ}\| \right\} \quad (2.25)$$

Şekil 2.16'da her bir evrişim için dört farklı yönde hesaplama yapılan piksel penceresinin alt-pencere düzenleştirmeleri verilmiştir.

Birçok içboyama yöntemi, onarma işlemini imgenin geometrik yapısına göre gerçekleştirmektedir [8-12, 55-56]. Fakat bozukluk içermeyen pikseller kaynak bölgeden hedef bölgeye ilerletilirken, yapılan aritmetiksel işlemlerden dolayı içboyama bölgesini bulanıklaştırmaktadır. Çünkü kaynak bölgedeki özgün piksel değerleri değil de, aritmetiksel işlemler sonucu elde edilen piksel değerleri hedef bölgeye ilerletilmektedir. Örneğin, [8]'deki yöntemde belli bir bölgedeki piksellerin ağırlıklı toplamalarıyla elde

edilen ve [9]'daki metotta ise, Laplace işleciyle kestirilen doldurulacak bölgedeki yeni piksel değeri, imgedeki özgün piksel değerini yansıtmadığından içboyama bölgesindeki yapının ve dokunun, özellikle kenar bilgilerinin bulanıklaşmasına sebep olmaktadır.



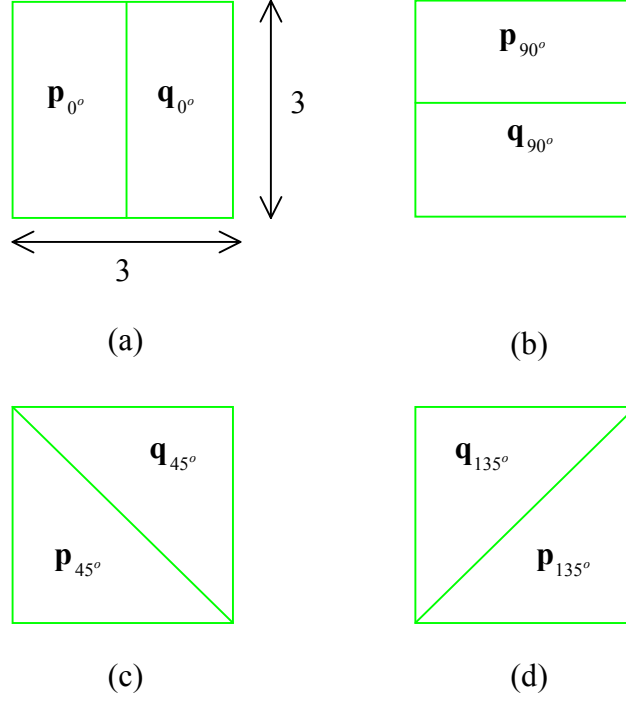
(a)



(b)

Şekil 2.15. Bir film çerçevesi: (a) İmgede numaralandırılmış bazı doku bölgeleri ve (b) imgenin geometrik yapısı

İçboyama yöntemleri çoğu durumlarda bulanıklaşma ile sonuçlanmasına rağmen, imgede veya imge dizilerindeki alt yazı gibi küçük boyutlu bölgelerin yok edilmesini başarılı bir şekilde gerçekleştirmektedir. Daha büyük boyutlu bölgelerinin yok edilmesi ise, doku sentezi yöntemleriyle yapılabilmektedir.



Şekil 2.16. Vektör işleçleri farkı yöntemi: (a)  $0^\circ$ , (b)  $45^\circ$ , (c)  $90^\circ$  ve (d)  $135^\circ$  yönlerindeki alt-pencere düzenleşimleri

Şekil 2.17’de görüldüğü gibi, [8] ve [12]’de açıklanan içboyama yöntemleri kullanılarak hedef bölgelerinin doldurulmasındaki başarıyı göstermek için Lena test imgesine yapay olarak lekeler eklenmiştir. [8]’deki yöntemle elde edilen onarılmış imgede, yöntem hızlı bir şekilde sonuca gitmesine rağmen, yöntemde özellikle kenar bilgilerinin tam olarak ilerletilemediği açıkça görülmektedir. [12]’deki yöntemde ise, çoğu durumlarda kenar bilgileri iyi bir şekilde içboyama bölgesine doğru ilerletilirken, özellikle doğrusal olmayan kenarlarda sorun ortaya çıkmaktadır. Çünkü bu tür durumlarda içboyama bölgesinin sınırına gelen eşit düzey çizgilerine eğri değil de doğru uydurulduğundan, eşit düzey çizgilerinin geliş açıları korunamamaktadır. Şekil 2.18’de ise, gerçek bozukluk içeren bir film çerçevesindeki lekelerin onarılması için yöntemlerinin başarıyı gösterilmiştir. Fakat her iki yöntem de küçük bölgelerdeki lekeler başarılı bir şekilde yok edilebilirken, TV logosu içeren bölgede doku bilgisi tam olarak sağlanamamıştır. Sonuçta

yok edilecek ya da onarılacak bölgede karmaşık bir imge dokusu varsa, içboyama yöntemleri genelde başarısız olmaktadır. Bu durumda imge yapısına bağlı doku senteziyle içboyama bölgesinin doldurulması başarıyı artıracaktır.



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 2.17. İçboyama yöntemleri: (a) Yapay olarak bozukluk eklenmiş Lena test imgesi, (b) maske imgesi, (c) [8]'deki ve (d) [12]'deki içboyama yöntemiyle elde edilmiş onarılmış imge. Yeşil renkle işaretli bölgelerde imge yapısı ve dokusu içboyama bölgesine iyi bir şekilde iletilememiştir



(a)

(b)



(c)

(d)

Şekil 2.18. İçboyama yöntemleri: (a) gerçek bozukluk ve TV logosu içeren bir film çerçevesi, (b) maske imgesi, (c) [8]'deki ve (d) [12]'deki içboyama yöntemiyle elde edilmiş onarılmış imgeler. Yeşil renkle işaretli bölgelerde imge dokusu içboyama bölgesine iyi bir şekilde iletilememiştir

Şekil 2.19'da görüldüğü gibi, çoğu doku sentezi yöntemi bir imge bölgesini doldururken, yöntemlerde imgenin yapısı dikkate alınmadan doldurma sırası ya rasgele ya da sırasal bir şekilde gerçekleştirilmektedir [15-18].

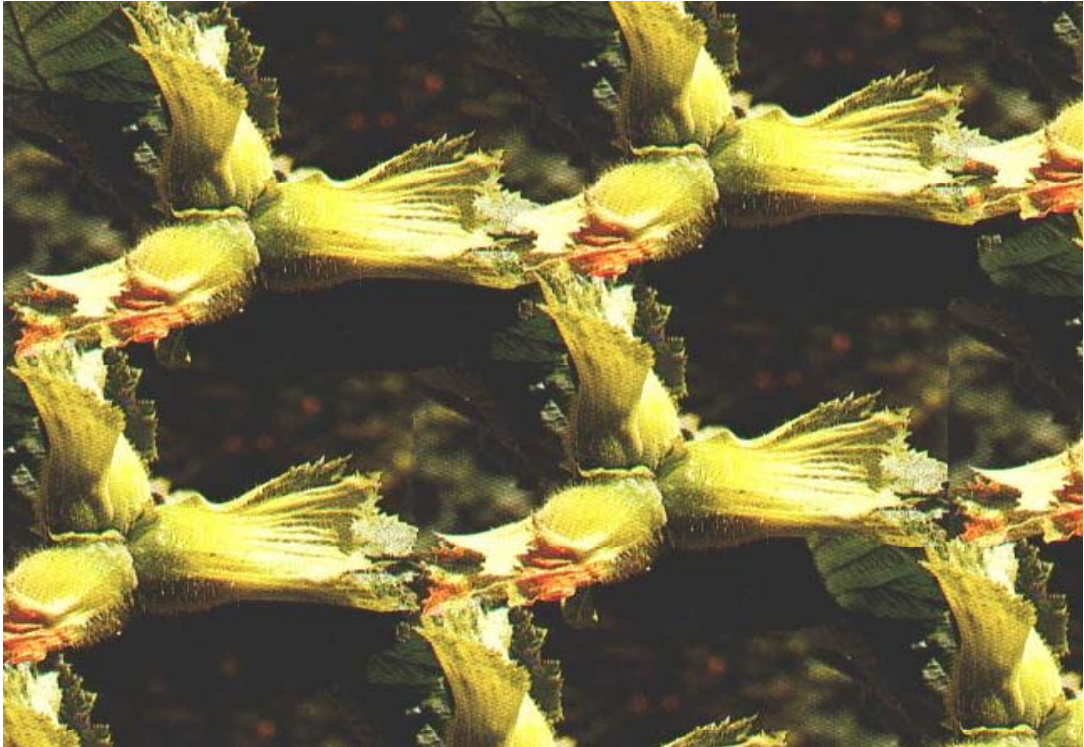
Fakat yapılan bazı çalışmalarda imge yapısı ve dokusu göz önüne alınarak doldurma işlemleri gerçekleştirilmiştir. [19]'da önerilen yöntemde, imge yapısı ve dokusu iki ayrı adımda dikkate alınarak içboyama bölgesi doldurulmuş ve sonuç imgesi bu iki fonksiyona göre düzenlenmiştir. İmgedeki yapılar içboyama yöntemiyle [9] hedef bölgeye doğru bir



şekilde ilerletilirken, doku parçaları da doku sentezi yöntemiyle [17] içboyama bölgesine kopyalanmıştır. Fakat yöntem, imgedeki yapı ve dokulara bağlı onarma işlemi yapmasına rağmen, küçük bölgelerin doldurulmasında başarıml iyi bir şekilde sağlanmış ve bazı bölgelerde yine bulanıklaşma meydana gelmiştir. Diğer bir yöntemde [23] de, imge yapıya ve dokuya bağlı onarılmaya çalışılmıştır; fakat özellikle de bazı kenar bölgeleri ve dokulu bölgeler bulanıklaştırılma yapılmadan doldurulamamıştır.



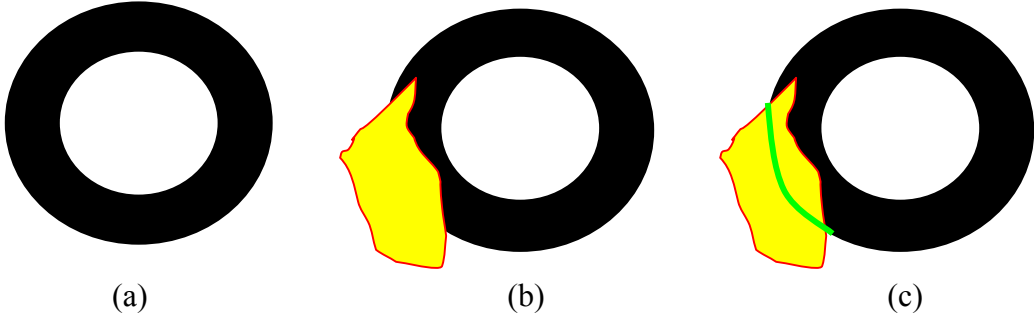
(a)



(b)

Şekil 2.19. Doku sentezi yöntemi: (a) Özgün doku ve (b) bloklama sorununun giderilmesi için bloklar arası örtüşme değeri 100 piksel alınarak sentezlenmiş çıkış imgesi

[80]'deki çalışmada ise, imgedeki nesnelerin eksik kenar bilgilerinin kestirilmesi için Euler sarmal çözümü kullanılmıştır. Şekil 2.20'deki gibi, Euler sarmal yöntemiyle imgedeki nesnenin eksik kenar bilgisine ilk önce bir eğri uydurulmuş ve daha sonra doldurulacak bölgeye içboyama yöntemi uygulanmıştır; böylece kenarlardaki bulanıklaşma ortadan kaldırılmıştır. [81]'de ise, [12]'deki yöntem biraz daha geliştirilerek, Euler sarmal yöntemi içboyama bölgesinin sınırlarıyla kesişen eşit düzey çizgilerinin geliş açısına bağlı birleştirilmesinde kullanılmıştır. Fakat Euler sarmal yöntemi kullanılarak eğri kestirilmesi için oldukça fazla hesapsal yoğunluk gerekmektedir.



Şekil 2.20. Euler sarmal yöntemi: (a) Özgün imge, (b) yapay lekeli imge ve (c) lekeli bölge tarafından imgenin örtülen kenar bilgisinin Euler sarmal yöntemiyle eğri uydurularak kestirilmesi. Kestirilen eğri yeşil renkle gösterilmiştir

### 2.5.1. Zaman-Uzamsal Örnek Tabanlı İçboyama

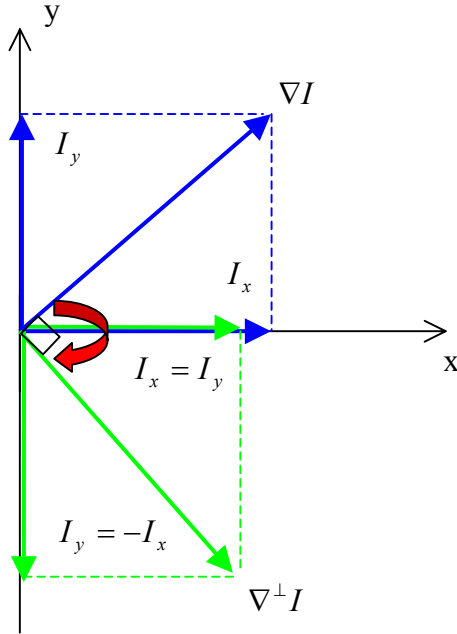
İmgedeki nesnelerin yok edilmesi veya hedef bölgelerin doldurulması için [24]'de önerilen örnek-tabanlı içboyama yöntemi, doku sentezi yöntemiyle imge yapısına bağlı olarak içboyama bölgesini uygun imge parçaları ile doldurmuştur. Bu yüzden eksik bilgilerinin doldurulma başarımı oldukça iyidir. İmgedeki yapı ve doku bilgisi, sırasıyla

- içboyama yöntemlerinde kullanılan imge gradyan vektörleriyle ve
- doku sentezleri yöntemlerinde kullanılan parça-tabanlı örneklemeyle

sağlanmıştır.

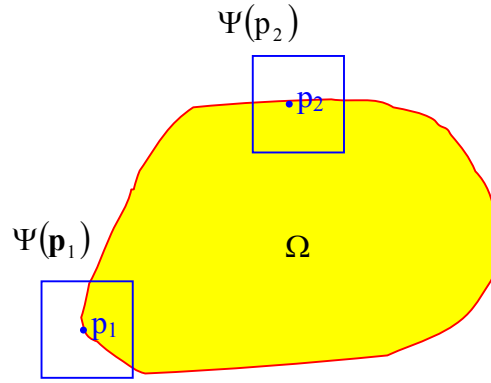
Aslında eksik bölgelerdeki yapı bilgisi, kullanıcının el ile işaretlemesi [82] ile de doğru bir şekilde ilerletilebilir. Fakat bu, herhangi bir sayısal fotoğraf için geçerli olabilir, ama film çerçeveleri için pratik bir çözüm olarak düşünülemez. Bunun yerine, onarılacak veya doldurulacak yürürlükteki bir pikselin imge gradyan vektörü bulunur ve bu vektörün

saat yönünde veya saatin tersi yönünde 90 derece döndürülmesi ile elde edilen vektör, o noktadaki imge yapısına paralel olur ve kenar bilgisi gibi eşit düzey çizgilerinin içboyama bölgesine doğru bir şekilde ilerletilmesini sağlar (Şekil 2.21). Böylece bu vektörle, hedef bölgenin sınırına gelen kenar bilgisi gibi eşit düzey çizgilerinin içboyama bölgesine geliş açılarının da korunarak ilerletilmesi sağlanmış olur. Hedef bölgeye eşit düzey çizgilerinin ilerletilmesi örnek-tabanlı içboyama yönteminde  $D(\mathbf{p})$  veri terimi ile sağlanmaktadır. Ayrıca içboyama bölgesinin dıştan içe doğru doldurulması gerekmektedir. Bu durumu kontrol eden terim ise,  $C(\mathbf{p})$  güven terimidir. Bu terim doldurulacak örnek-tabanlı parçanın ne kadarının hedef bölgenin içersinde ne kadarının kaynak bölgede olduğuna bağlı olarak çalışmaktadır. Şekil 2.22’de bu durum gösterilmiştir.  $\Psi(\mathbf{p}_1)$  parçası,  $\Psi(\mathbf{p}_2)$  parçasına göre hedef bölgede daha az piksel içerdiğinden doldurulma sırası daha önceliklidir. Çünkü  $\Psi(\mathbf{p}_1)$  parçası kaynak bölgede arama yapılırken karşılaştırma işlemi için daha fazla bilgi içermektedir. Dolayısıyla ilk önce bu parçanın doldurulması daha güvenli olacaktır.  $D(\mathbf{p})$  terimi ise, Şekil 2.23’de gösterildiği gibi hedef bölgenin çevritine rastlayan kenar bilgilerinin daha öncelikli olarak doldurulmasını sağlar. Çünkü imge gradyan vektörü bu noktalarda daha büyük çıkacaktır. Böylece parça önceliği, bu iki terim dikkate alınarak hesaplanır. Örnek tabanlı içboyama yönteminde parça önceliği, Denklem 1.21 ile elde edilir.

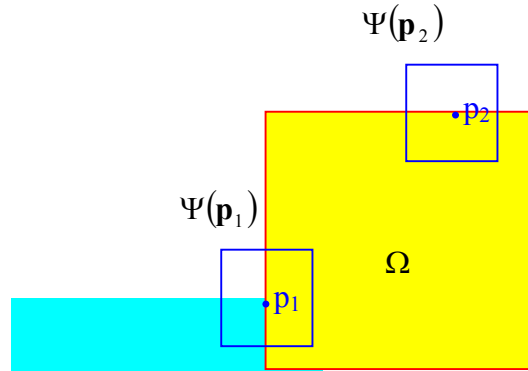


Şekil 2.21. Gradyan vektörünün saat yönünde 90 derece döndürülmesi





Şekil 2.22. Hedef bölgede doldurulacak  $\Psi(\mathbf{p}_1)$  ve  $\Psi(\mathbf{p}_2)$  parçaları:  $\Psi(\mathbf{p}_1)$  parçası  $\Psi(\mathbf{p}_2)$  parçasına göre kaynak bölgeden daha fazla bilgi içerdiğinden doldurulma sırası  $\Psi(\mathbf{p}_2)$  parçasından daha önceliklidir



Şekil 2.23. Hedef bölgede doldurulacak  $\Psi(\mathbf{p}_1)$  ve  $\Psi(\mathbf{p}_2)$  parçaları:  $\Psi(\mathbf{p}_1)$  parçası  $\mathbf{p}_1$  noktasında kenar bilgisi içerdiğinden doldurulma sırası  $\Psi(\mathbf{p}_2)$  parçasından daha önceliklidir

Hedef bölge, uygun örnek parçalarla doldurulurken hedef bölgede bloklama sorunu ortaya çıkabilmektedir. Bu sakıncayı ortadan kaldırmak için bazı yöntemler geliştirilmiştir [16, 83] (Şekil 2.19). Fakat imge dizilerinde bir önceki ve bir sonraki çerçevelerde oldukça benzer imge parçaları olduğundan, zaman-uzamsal örnek parçaları içboyama bölgesinde pek fazla bloklama etkisini ortaya çıkarmamaktadır. Bu yüzden ardışık çerçevelerde arama yapılarak en uygun örnek parçanın hedef bölgeye kopyalanması, yürürlükteki çerçevede içboyama bölgesindeki hem imge yapısını hem de dokusunu iyi bir şekilde sağlamış

olmaktadır. Eğer lekeli bölgelerde doğru bir hareket kestirimi yapılmışsa, içboyama bölgelerinin doldurulma başarımı oldukça iyi olacaktır. Hareket gezinesi boyunca en uygun örnek parçasının aranması, işlemleri biraz daha hızlandıracaktır. Bir önceki ve bir sonraki kaynak bölgelerde arama uzaklıklarının hareket vektörlerine bağlı olarak ayarlanması, yine arama işlemini hızlandıracaktır; fakat yürürlükteki çerçevede lekeli bölgelerin geniş bir alanı kaplaması bazen hareket kestirimde sorunların çıkmasına sebep olmaktadır. Ayrıca yürürlükteki çerçeveye göre bir önceki ve bir sonraki çerçevelerin hareket dengelemesi yapılması da bloklama sorunlarını ortaya çıkaracaktır. Bu yüzden geliştirilen yöntemde sadece data terimi, hareket gezinesi dikkate alınarak zaman-uzamsal konumda aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$D_i = \begin{cases} \frac{|\nabla^\perp I(x, y, t + i) \cdot \mathbf{n}(\mathbf{p})|}{\alpha}, \forall i \in 0 \\ \frac{|\nabla^\perp \hat{I}(x, y, t + i) \cdot \mathbf{n}(\mathbf{p})|}{\alpha}, \forall i \in -1, 1 \end{cases} \quad (2.26)$$

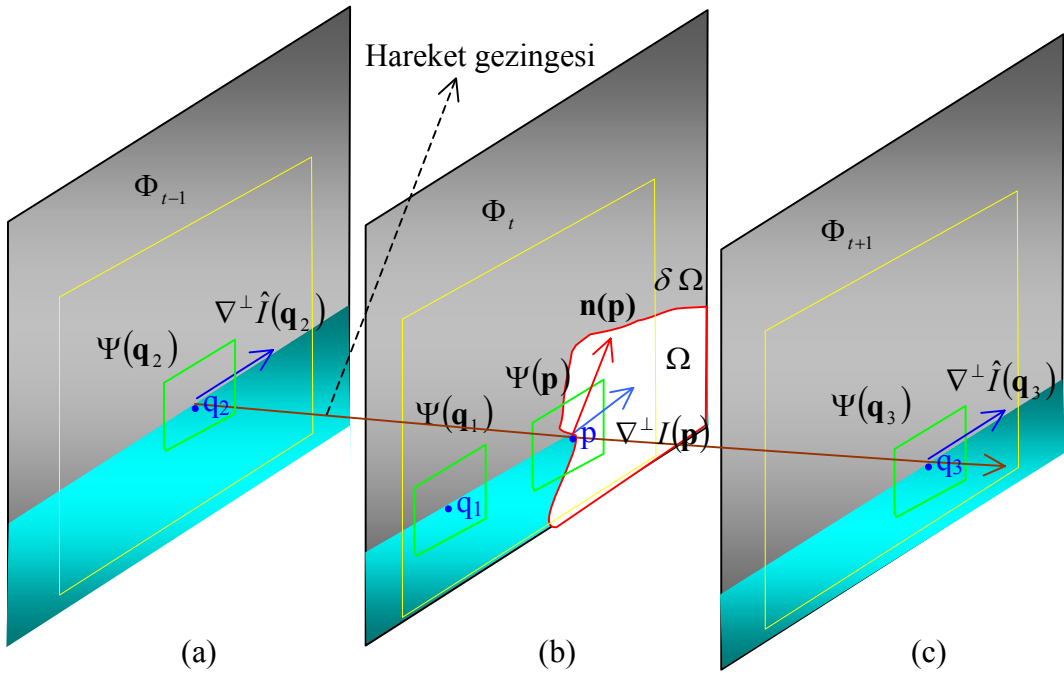
$$D(\mathbf{p}) = \sum_{i=-1}^1 w_i D_i, \quad w_i = \begin{cases} 1/2, \forall i \in 0 \\ 1/4, \forall i \in -1, 1 \end{cases} \quad (2.27)$$

Böylece imge yapısının daha iyi ilettilmesi 3-boyutlu data terimiyle sağlanmıştır. Ayrıca Şekil 2.24'de görüldüğü gibi, hedef bölge doldurulurken, arama bölgeleri zaman-uzamsal konuma genişletilerek, arama işleminde yürürlükteki çerçeveye ilaveten bir önceki ve bir sonraki çerçevelerde de kullanılmıştır.

Önerilen zaman-uzamsal örnek-tabanlı içboyama yöntemi aşağıdaki işlem adımlarından oluşmaktadır :

- $\Omega$  hedef bölgesini ilk kullanıma hazırla
- Yürürlükteki, önceki ve sonraki çerçevelerdeki  $\Phi_t$ ,  $\Phi_{t-1}$  ve  $\Phi_{t+1}$  kaynak bölgelerini belirle
- $C(\mathbf{p})$  güven terimi değerlerini ilk kullanıma hazırla
- Hedef bölgenin  $Alan(\Omega)$  alanını belirle
- $Alan(\Omega^i) > 0$  iken tekrarla ( $i$  yürürlükteki döngüyü belirtir)
  - $\delta\Omega^i$  çevritini belirle

- $P(\mathbf{p}), \forall \mathbf{p} \in \delta\Omega^i$  önceliklerini hesapla
- $\Psi(\hat{\mathbf{p}})|_{\hat{\mathbf{p}}} = \arg \max_{\mathbf{p} \in \delta\Omega^i} P(\mathbf{p})$  öncelik parçasını bul
- $\Psi(\hat{\mathbf{q}}) \in \{\Phi_{t-1} \cup \Phi_t \cup \Phi_{t+1}\} | \arg \min d(\Psi(\hat{\mathbf{p}}), \Psi(\hat{\mathbf{q}}))$  örnek parçasını bul
- İmge verisini  $\Psi(\hat{\mathbf{q}})$ 'den  $\Psi(\hat{\mathbf{p}})$ 'e kopyala
- $C(\mathbf{p}), \forall \mathbf{p} | \mathbf{p} \in \Psi(\hat{\mathbf{p}}) \cap \Omega$  güven terimi değerlerini güncelle



Şekil 2.24. Zaman-uzamsal örnek-tabanlı içboya yöntemi: (a) Bir önceki, (b) yürürlükteki ve (c) bir sonraki çerçeveler

### 3. BULGULAR VE İRDELEME

#### 3.1. Giriş

Geliştirilen yöntem, yapay olarak bozukluk eklenmiş ve gerçek bozukluk içeren imge dizilerinde test edilmiştir. Zaman-uzamsal örnek-tabanlı içboyama yöntemleri, uzamsal örnek-tabanlı içboyama ve ÇD3B vektör ortanca süzgeç yöntemleriyle karşılaştırılmış ve yöntemlerin başarımı gösterilmiştir.

Yöntemlerde kullanılan algoritmaların tamamı Microsoft Visual C++. NET 2003 programlama dilinde MFC kullanılarak yazılmıştır (Şekil 3.1). Sadece hareket kestirim algoritmasındaki OMF blok eşleştirme işleminin daha hızlı yapılabilmesi için, ilgili program kodunda MMX emir takımları kullanılmıştır. Test işlemleri için, 352 x 288 boyutlarında, 300 ve 400 film çerçeveleri içeren, sırasıyla “CoastGuard” ve “Foreman” imge dizileri ve bir TV yanından analog TV kartı ile yakalanan ve gerçek bozukluk içeren imge dizisi kullanılmıştır. Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, geliştirilen yöntemde girdi olarak 24-bit RGB renk bileşenli AVI uzantılı video dosyası alınmakta ve daha sonra bu girdi videosu, YUV444 renk modeli imge dizisine dönüştürülmektedir. Önerilen yöntemde, hareket kestirimi sadece Y parlaklık bileşeni dikkate alınarak yapılmış ve imge dizisindeki lekelerden dolayı hatalı kestirilen hareket vektörleri geliştirilen yöntemle onarıldıktan sonra, renkli görüntülere kolay bir şekilde uyarlanabilen AGAİ<sub>a</sub> yöntemi ile imge dizisindeki bozukluklar algılanmış ve daha sonra onarma yöntemleriyle algılanan bozukluklar uygun imge parçalarıyla doldurulmuştur.

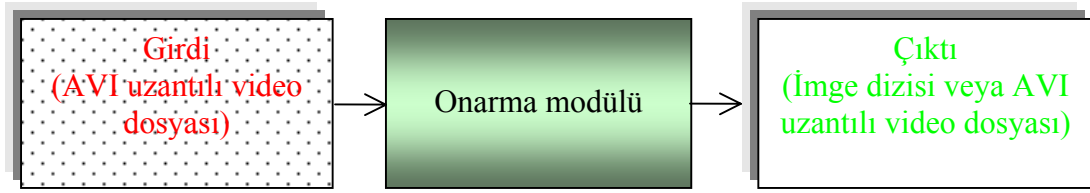


(a)



(b)

Şekil 3.1. Geliştirilen programın görsel arayüzü: (a) Leke algılama ve (b) leke onarma



Şekil 3.2. Geliştirilen yöntemin blok diyagramı

YUV modeli, ışıklılık (parlaklık) ve iki renk bileşeninden (kanalından) oluşan bir renk uzayını tanımlar ve PAL analog televizyon yayınlarında ve MPEG kodlama standartlarında kullanılmaktadır. YUV modelleri, insanların renk algılamasına PC grafik donanımlarında kullanılan RGB standardından çok daha yakındır. Bu yüzden önerilen yöntemde genelde YUV renk modeli kullanılmıştır. Y, ışıklılık bileşenini ve U ve V ise, renk bileşenlerini göstermektedir. Ayrıca insan gözü renk değişimlerine fazla duyarlı olmadığından U ve V renk bileşenlerinin bazı bilgileri atılabilir. YUV444 modeli ile RGB standardı arasındaki dönüşüm ifadeleri aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\begin{aligned}
 Y &= ((66R + 129G + 25B + 128) / 256) + 16 \\
 U &= ((-38R - 74G + 112B + 128) / 256) + 128 \\
 V &= ((112R - 94G - 18B + 128) / 256) + 128
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
 R &= ((298Y + 409V + 128) / 256) \\
 G &= ((298Y - 100U - 208V + 128) / 256) \\
 B &= ((298Y + 516U + 128) / 256)
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Yöntemlerin nicel ve nitel olarak başarımları test edilmiştir. Test dizilerindeki bütün imgelere yapay olarak rasgele bozukluklar eklenmiştir. İmge dizilerine eklenen lekeler gerçek imge dizilerindeki bozukluklardan elde edilmiştir ve bazı lekeler hareket içeren imge bölgelerine eklenmiştir. Ayrıca imge dizilerine ilaveten % 0.1 ve % 0.3 Gauss gürültüleri de eklenmiştir. Özgün ve yapay olarak bozukluk eklenmiş “Foreman” ve “CoastGuard” dizilerinin fazla karmaşık bir hareket içermeyen 20. film çerçeveleri ve “Foreman” dizisinin biraz daha karmaşık hareket içeren 239. film çerçevesi, sırasıyla Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6’da ve gerçek leke içeren dizinin 58. film çerçevesi ise Şekil 3.7’de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.3. Test dizileri: “Foreman” dizisinin (a) 20., (b) 239. ve “CoastGuard” dizisinin (c) 20. film çerçeveleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.4. Yapay olarak rasgele leke eklenmiş “Foreman” dizisinin (a) 20., (b) 239. ve “CoastGuard” dizisinin (c) 20. film çerçeveleri





(a)



(b)



(c)

Şekil 3.5. Yapay olarak % 0.1 Gauss gürültüsü ve rasgele leke eklenmiş “Foreman” dizisinin (a) 20., (b) 239. ve “CoastGuard” dizisinin (c) 20. film çerçeveleri





(a)



(b)



(c)

Şekil 3.6. Yapay olarak % 0.3 Gauss gürültüsü ve rasgele leke eklenmiş “Foreman” dizisinin (a) 20., (b) 239. ve “CoastGuard” dizisinin (c) 20. film çerçeveleri



Şekil 3.7. Bir TV yayından analog TV kartıyla yakalanmış gerçek leke içeren dizinin 58. film çerçevesi

### 3.2. Yapay Olarak Bozukluk Eklenmiş İmge Dizilerinde Başarım Analizi

Geliştirilen onarma modülünde, ilk önce imge dizilerinde gürültü azaltması yapılmıştır. Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemi ile elde edilmiş gürültüsü azaltılmış test imge dizileri, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9’da verilmiştir. % 0.1 ve % 0.3 Gauss gürültülerinin azaltılması için yöntemde sırasıyla, Gauss ağırlık süzgecinin  $a$  standart sapma değeri her iki durumda da 1,  $h$  üstel azalmayı kontrol eden parametre değeri 4 ve 5, komşuluk bölgelerinin yarıçapı olan  $L$  parametre değeri 3 ve 5, arama bölgesinin yarıçapı 5 ve 7 olarak alınmış ve ardışık üç film çerçevesi kullanılmıştır. Şekillerden de görülebileceği gibi, zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemi ile % 0.1 Gauss gürültüsü azaltılmış film çerçevelerindeki yapı ve doku bilgileri fazla bulanıklaştırılma yapılmadan korunabilmişken, % 0.3 Gauss gürültüsü azaltılmış film çerçevelerinde ise biraz bulanıklaşma meydana gelmesine rağmen; önerilen yöntemle, birçok gürültü azaltma yöntemlerine göre oldukça iyi bir sonuç elde edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.8. Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemiyle elde edilen % 0.1 Gauss gürültüsü azaltılmış çerçeveler: “Foreman” dizisinin (a) 20., (b) 239. ve “CoastGuard” dizisinin (c) 20. film çerçeveleri



(a)



(b)



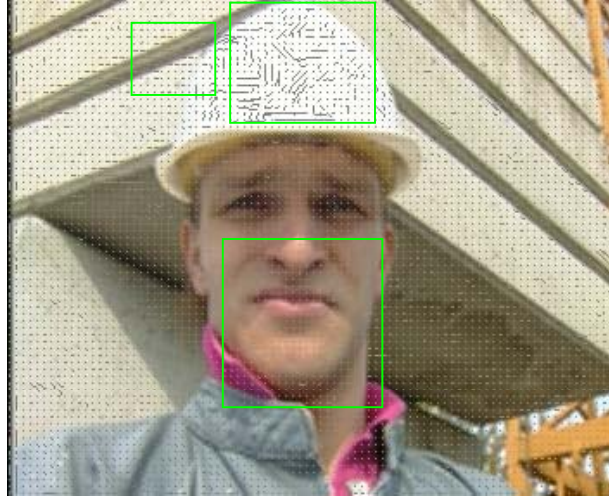
(c)

Şekil 3.9. Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemiyle elde edilen % 0.3 Gauss gürültüsü azaltılmış çerçeveler: “Foreman” dizisinin (a) 20., (b) 239. ve “CoastGuard” dizisinin (c) 20. film çerçeveleri

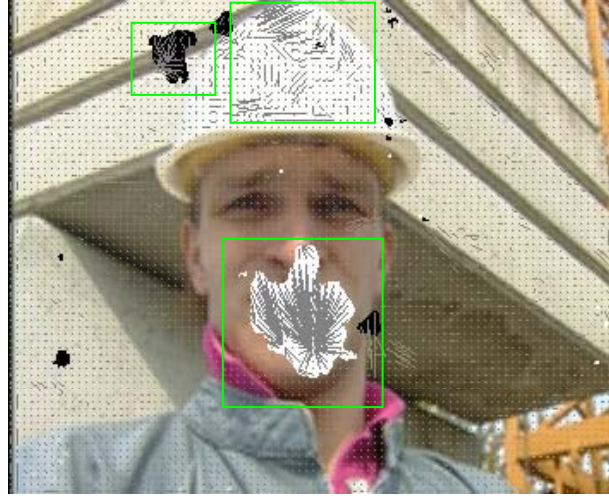
Özgün, yapay olarak sadece leke eklenmiş “Foreman” dizisinin 20. ve 239. ve “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevelerinin hareket vektörleri sırasıyla Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Hareket kestiriminde blok boyutu 4 x 4 alınmış ve alt-piksel doğruluklu kestirim yapılmıştır. Şekillerde yeşil renkle işaretlenmiş bölgelerdeki hareket vektörleri, hareket vektörü onarma modülü ile yeniden kestirilmeye çalışılmıştır. Yapay olarak sadece leke eklenmiş çerçevelerde, fazla karmaşık hareket içermeyen lekeli bölgelerdeki hareket vektörleri, geliştirilen hareket vektörü onarma yöntemiyle özgün hareket vektörlerine hemen hemen benzer bir şekilde kestirilmiştir. Fakat Şekil 3.11’de görüldüğü gibi, karmaşık hareket içeren bölgelerdeki bazı hareket vektörleri yine de hatalı bir şekilde kestirilmiştir.

Yapay olarak % 0.1 ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin 20. ve 239. ve “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevelerinin hareket vektörleri, sırasıyla Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16, Şekil 3.17 ve Şekil 3.18’de gösterilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi, çerçevelerde gürültü azaltması yapıldığından imge dizisinin özgün yapı ve dokusu biraz bulanıklaştırılmış ve bundan dolayı hareket vektörlerinin yeniden kestirimi biraz daha hatalı yapılmıştır.

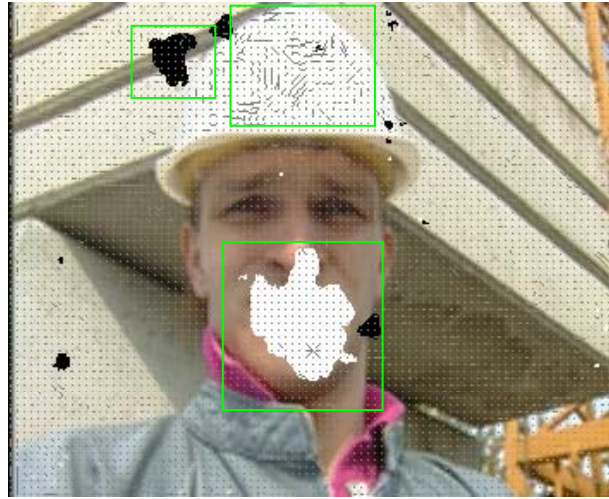




(a)

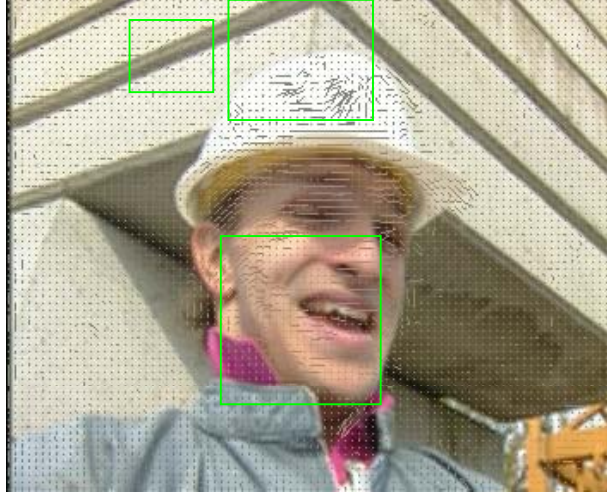


(b)

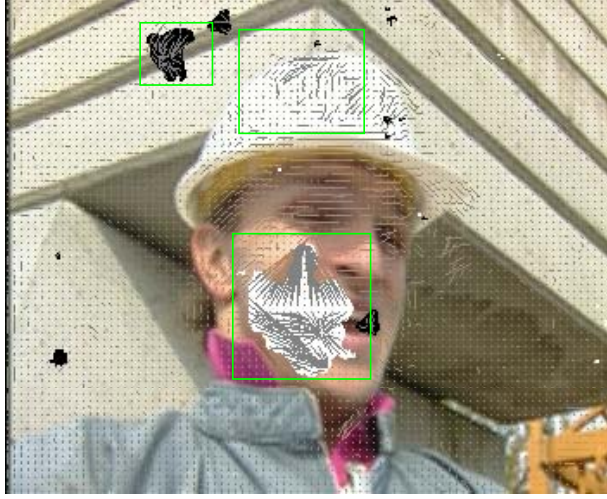


(c)

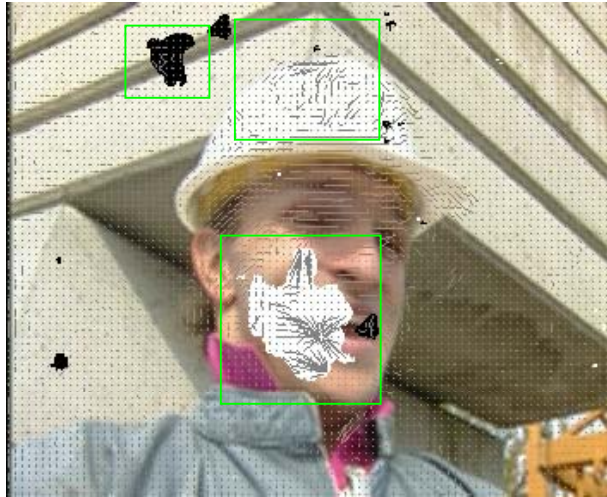
Şekil 3.10. "Foreman" dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: (a) Özgün çerçevenin, sadece leke eklenmiş çerçevenin (b) onarılmadan önceki ve (c) onarıldıktan sonraki hareket vektörleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.11. “Foreman” dizisinin 239. film çerçevesinin hareket vektörleri: (a) Özgün çerçevenin, sadece leke eklenmiş çerçevenin (b) onarılmadan önceki ve (c) onarıldıktan sonraki hareket vektörleri

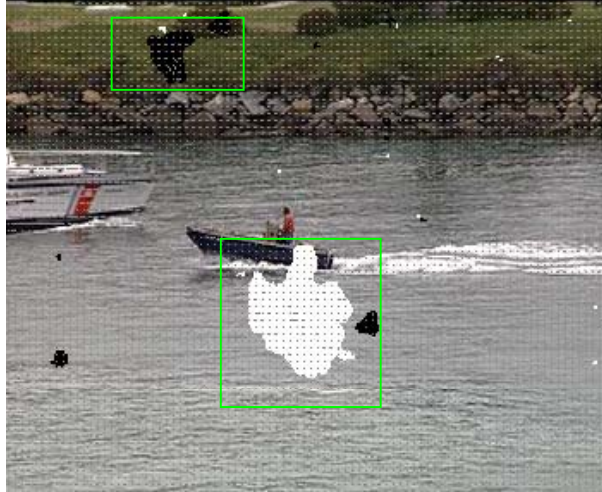




(a)



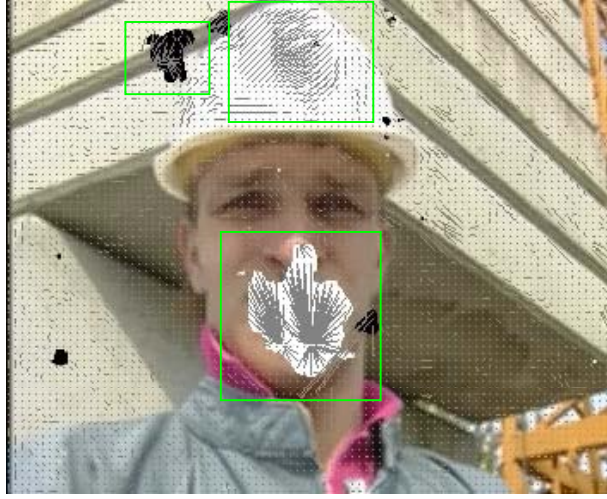
(b)



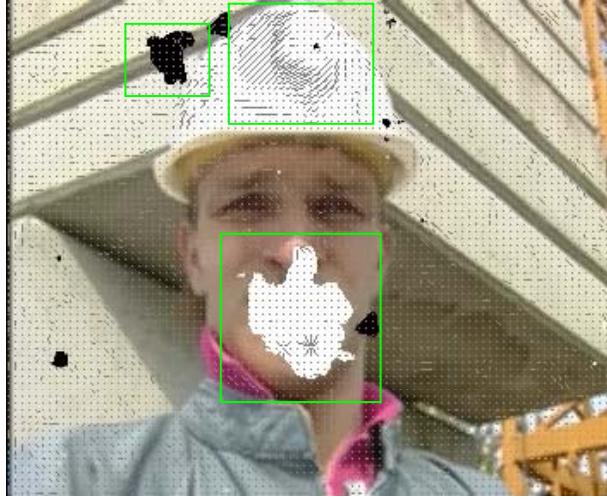
(c)

Şekil 3.12. “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: (a) Özgün çerçevenin, sadece leke eklenmiş çerçevenin (b) onarılmadan önceki ve (c) onarıldıktan sonraki hareket vektörleri



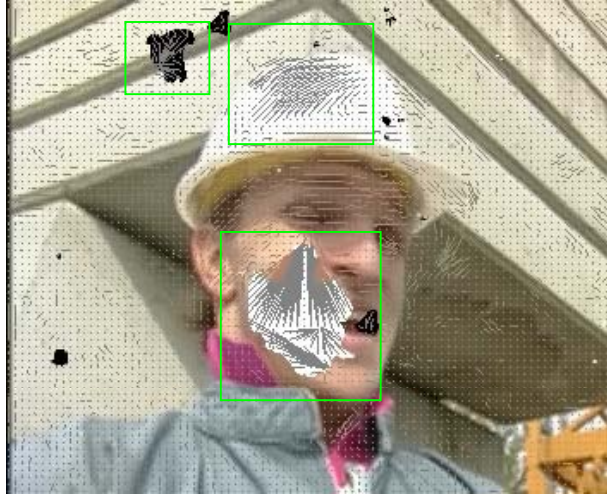


(a)

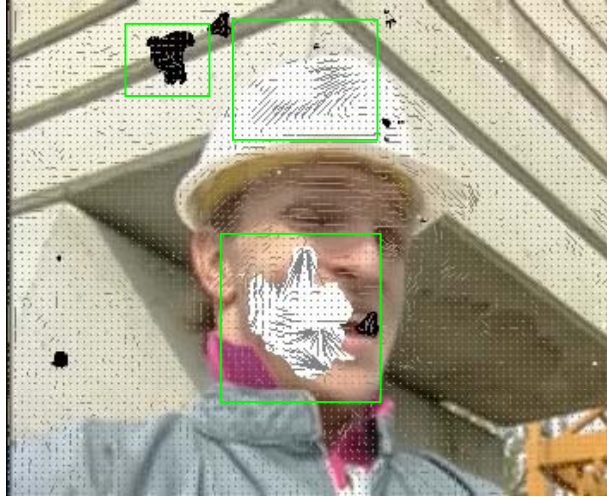


(b)

Şekil 3.13. % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri



(a)

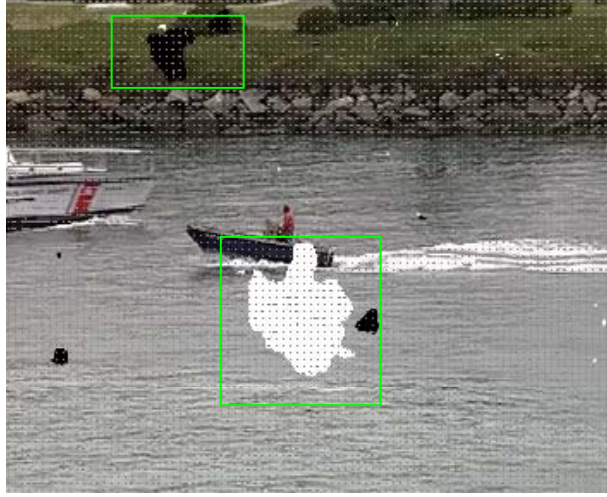


(b)

Şekil 3.14. % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin 239. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri

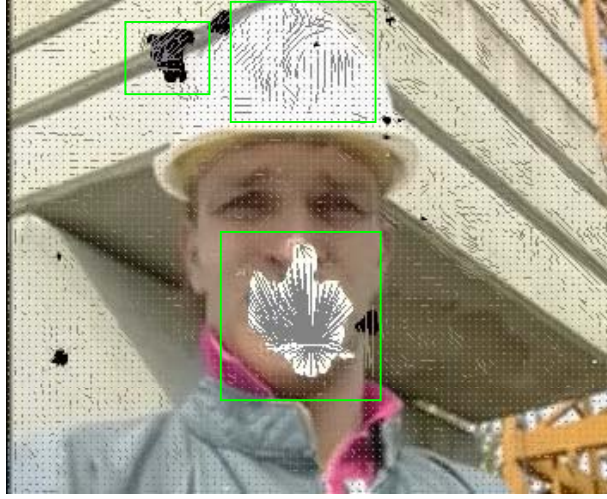


(a)

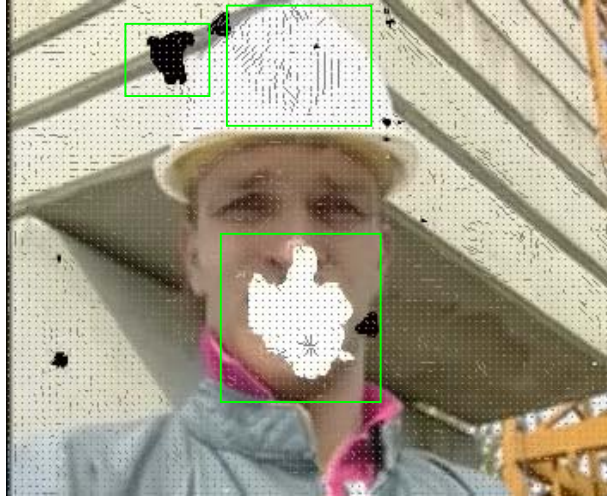


(b)

Şekil 3.15. % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri



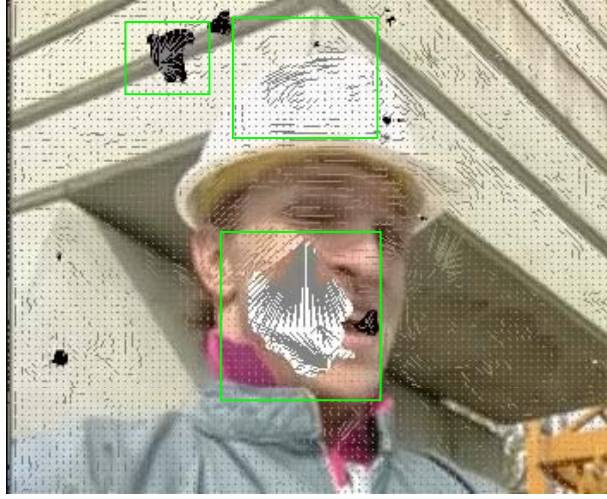
(a)



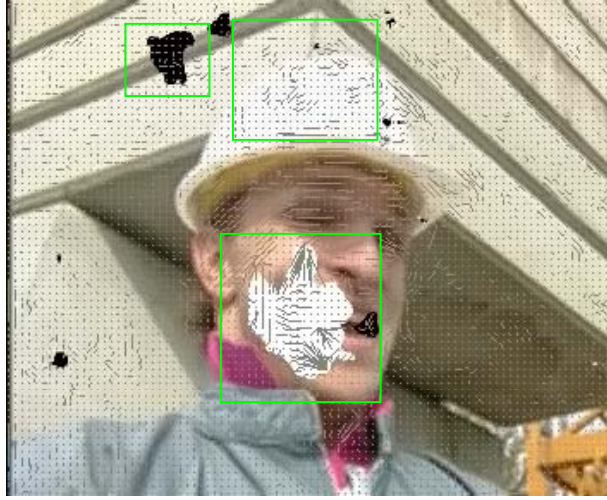
(b)

Şekil 3.16. % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri



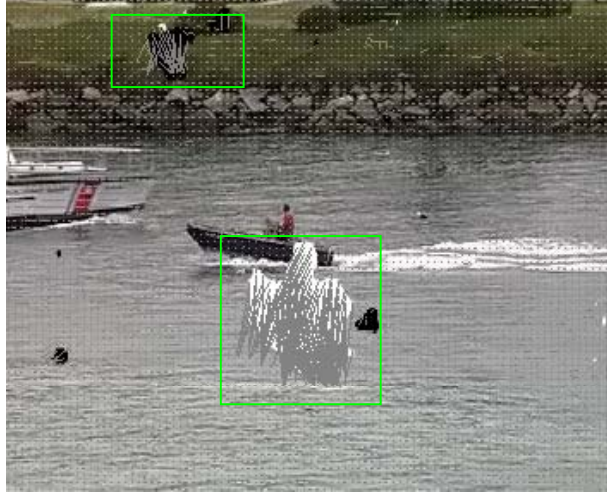


(a)

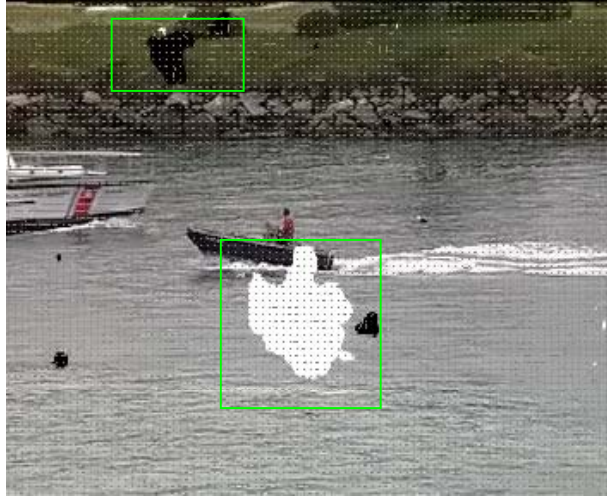


(b)

Şekil 3.17. % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin 239. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri



(a)

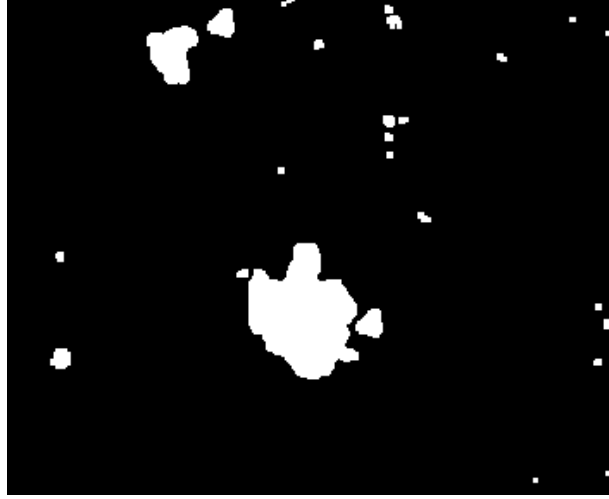


(b)

Şekil 3.18. % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevesinin hareket vektörleri: Çerçevenin (a) onarılmadan önceki ve (b) hareket vektörü onarma modülünde onarıldıktan sonraki hareket vektörleri

Özgün, yapay olarak % 0.1 ve % 0.3 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin 20. ve 239. ve “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevelerinde AGAİ<sub>a</sub> yöntemiyle algılanmış lekeler sırasıyla Şekil 3.19, Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’de gösterilmiştir. Foreman” ve “CoastGuard” dizileri için algılama eşiği, sırasıyla  $T = 60$  ve  $T = 100$  olarak alınmıştır. Hareket vektörlerinin doğru olarak kestirilip kestirilmemesi leke algılama modülü için oldukça önem arz etmektedir. Çünkü AGAİ<sub>a</sub> leke algılama yöntemi, hareket gezingelerine bağlı bozukluk algılaması yapmaktadır. Şekillerde algılanan lekeler beyaz renkte gösterilmiştir. Algılanan lekeler, imge dizisine eklenen gürültü miktarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Gürültü miktarının fazla olmasına bağlı olarak hatalı leke algılama oranı da bazen artmaktadır. Şekil 3.19’da “Foreman” dizisinin 20. film çerçevesinde bu durum açıkça görülürken, Şekil 3.21’de gösterilen “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevesinde ise, algılanan lekelerde hemen hemen pek bir fark yoktur. Fakat Şekil 3.21’de “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevesinde kırmızı renkle işaretlenmiş bölgedeki bazı lekeler tam olarak algılanamamıştır. Çünkü bu durum, ilgili bölgede lekenin renk bilgisinin imgenin yapı ve doku bilgisiyle benzeşip benzeşmediğine, hareket kestiriminin doğru yapıp yapılmadığına ve ayrıca yöntemde kullanılan eşiğe bağlı olarak ortaya çıkmaktadır.

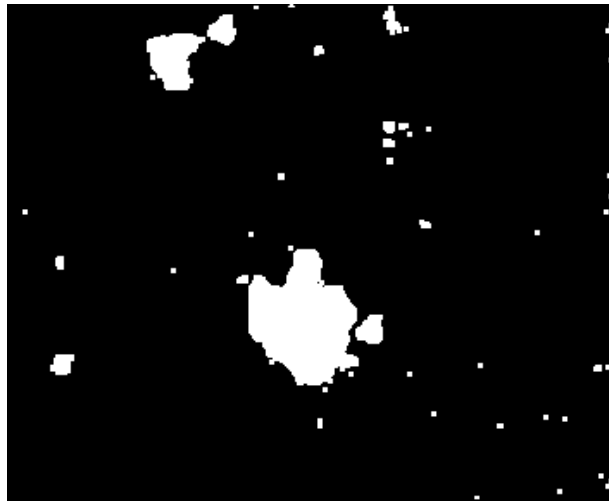
Algılanan bölgelerdeki lekelerin daha iyi bir başarımla onarılabilmesi için, algılanan lekeler 3 x 3 genleşme işleci uygulanmıştır. Böylece lekeli bölgeden özgün imge bölgesine geçiş kısımları da lekeli bölgeye dahil edilmiştir.



(a)



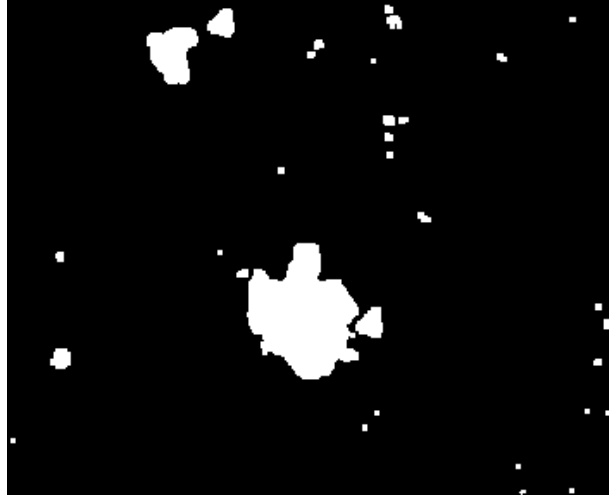
(b)



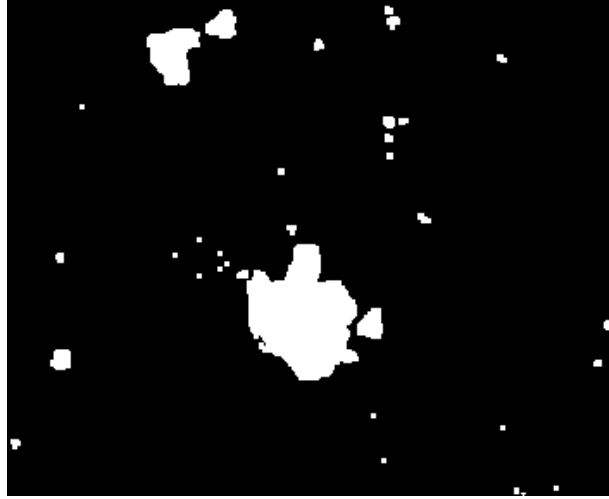
(c)

Şekil 3.19. AGAİ<sub>a</sub> yöntemiyle “Foreman” dizisinde (a) sadece leke, (b) % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke ve (c) % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklenmiş 20. film çerçevesindeki algılanan lekeler

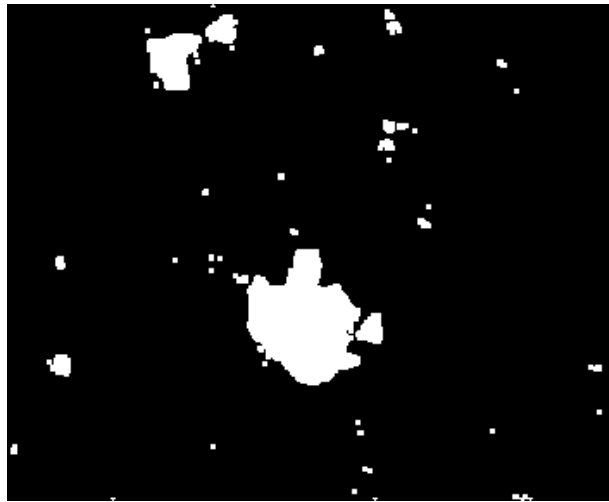




(a)



(b)

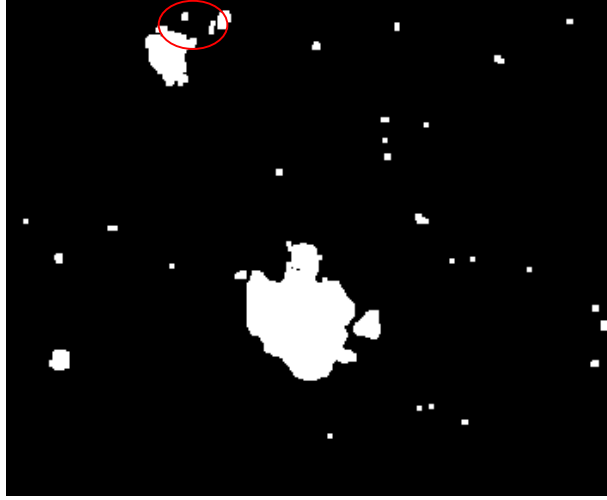


(c)

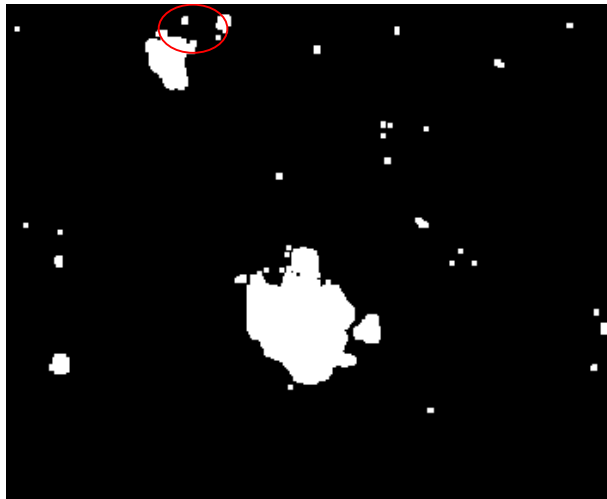
Şekil 3.20. AGAI<sub>a</sub> yöntemiyle “Foreman” dizisinde (a) sadece leke, (b) yapay bozukluklar eklendikten sonra % 0.1 Gauss gürültüsü ve (c) % 0.3 Gauss gürültüsü azaltılmış 239. film çerçevesindeki algılanan lekeler



(a)



(b)



(c)

Şekil 3.21.  $AGAI_a$  yöntemiyle “CoastGuard” dizisinde (a) sadece leke, (b) yapay bozukluklar eklendikten sonra % 0.1 Gauss gürültüsü ve (c) % 0.3 Gauss gürültüsü azaltılmış 20. film çerçevesindeki algılanan lekeler

Standart nicel ölçüm işlemlerinde kullanılan düzelenmiş ortalama karesel hata (DOKH) ile yöntemlerin onarma başarımı değerlendirilmiştir:

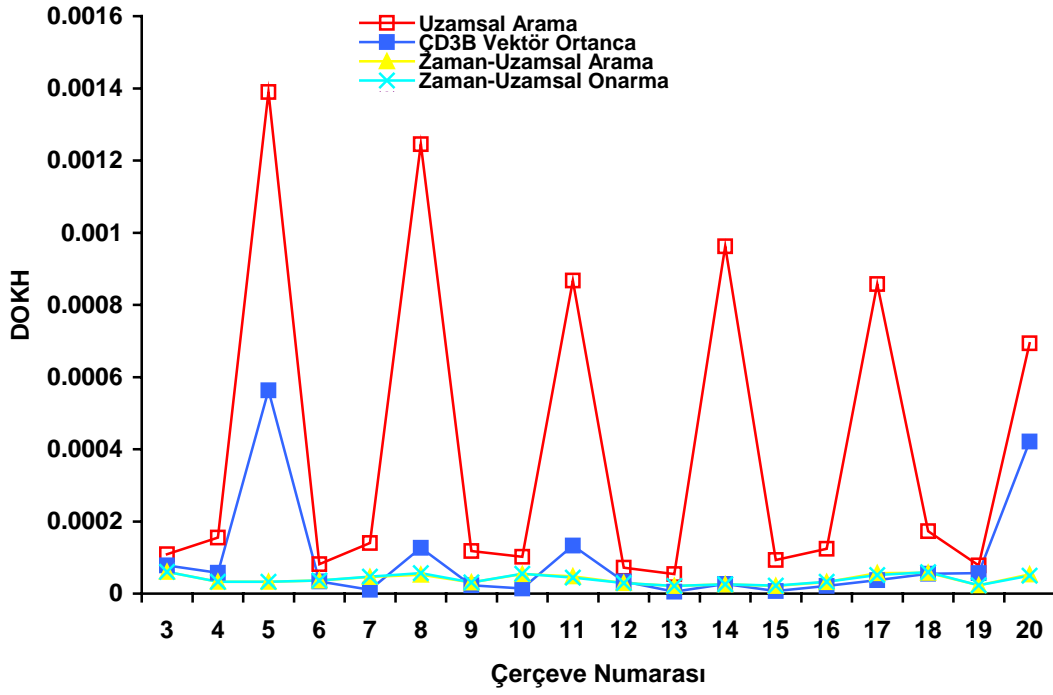
$$DOKH(t) = \frac{\sum_{p \in \Phi} \|I(\mathbf{p}) - \tilde{I}(\mathbf{p})\|_2^2}{\sum_{p \in \Phi} \|I(\mathbf{p})\|_2^2} = \frac{\sum_{p \in \Phi} \sum_{i=1}^c (I_i(\mathbf{p}) - \tilde{I}_i(\mathbf{p}))^2}{\sum_{p \in \Phi} \sum_{i=1}^c (I_i(\mathbf{p}))^2} \quad (3.3)$$

Özgün, sadece leke, % 0.1 ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” ve “CoastGuard” dizilerinin 3 ile 20. ve 223 ile 240. arasındaki çerçevelerinin DOKH grafikleri sırasıyla Şekil 3.22, Şekil 3.23, Şekil 3.24, Şekil 3.25, Şekil 3.26, Şekil 3.27, Şekil 3.28, Şekil 3.29 ve Şekil 3.30’da verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi, test dizilerinin DOKH grafiği, örnek-tabanlı uzamsal, zaman-uzamsal arama ve veri teriminin zaman-uzamsal hesaplanması ve ayrıca arama işleminin de zaman-uzamsal yapılmasına ve ÇD3B vektör ortanca süzgecine bağlı olarak grafikleri verilmiştir. Vektör ortanca süzgeci renkli görüntülerde gürültü azaltmak için kullanılan çok kanallı süzgeçlerden bir tanesidir.  $Q$  komşuluk bölgesindeki vektör-değerli piksellere bağlı olarak vektör ortanca süzgecinin çıkışı aşağıdaki ifade ile hesaplanır:

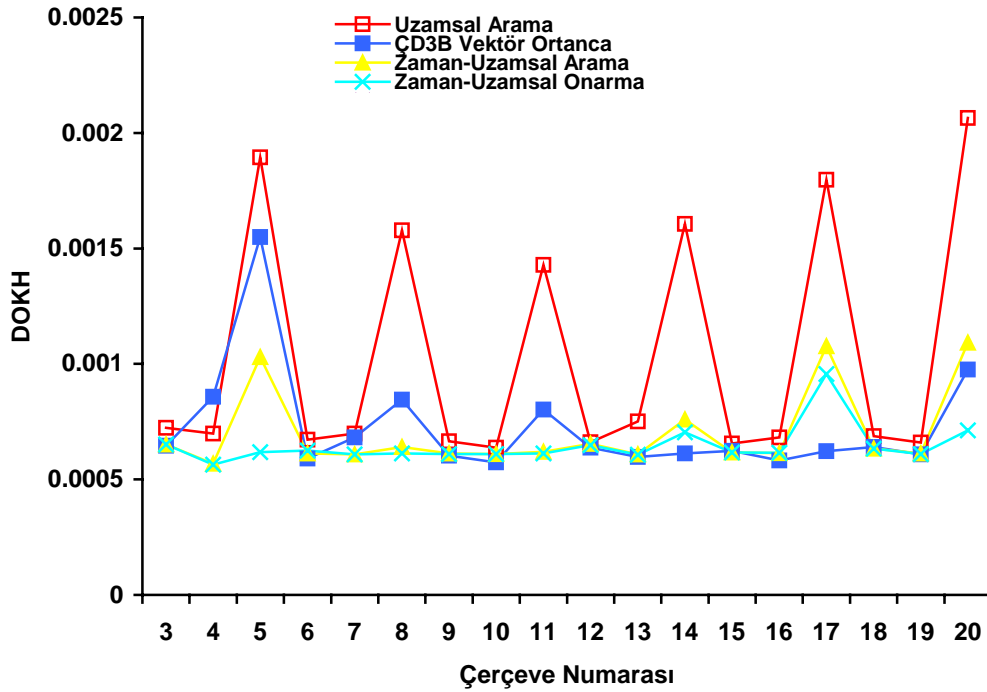
$$\tilde{I} = \arg \min_{I(\mathbf{p}) \in Q} \sum_{\mathbf{q}} \|I(\mathbf{q}) - I(\mathbf{p})\|_2 \quad (3.4)$$

Yukarıdaki ifade, ÇD3B vektör ortanca süzgecinde her bir destek bölgesindeki vektör ortanca değerleri hesaplamak için kullanılabilir ve daha sonra bunların da ortanca vektör değeri yeniden kestirilecek pikseli belirlemiş olur.

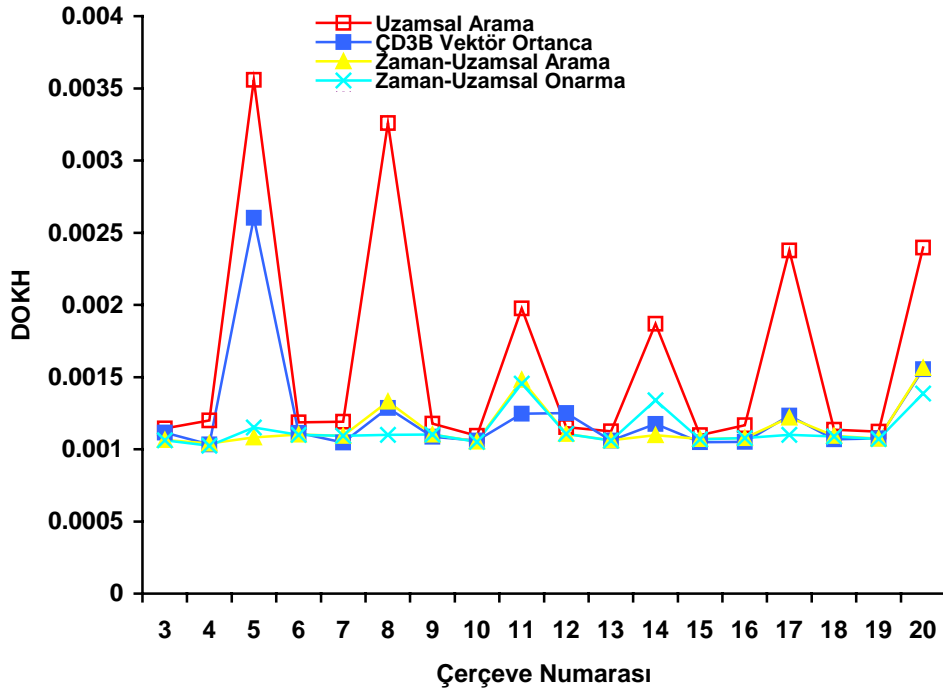
Örnek-tabanlı yöntemlerde parça boyutu 9 x 9 ve arama uzaklığı 25 piksel olarak alınmıştır. Dikkat edilirse zaman-uzamsal olarak yapılan onarma işlemlerinden elde edilen hata grafiği, her iki test dizisi için de daha az hata değerleri ile bulunmuştur. En fazla hata değeri örnek-tabanlı uzamsal yöntemin sonucundan elde edilmiştir.



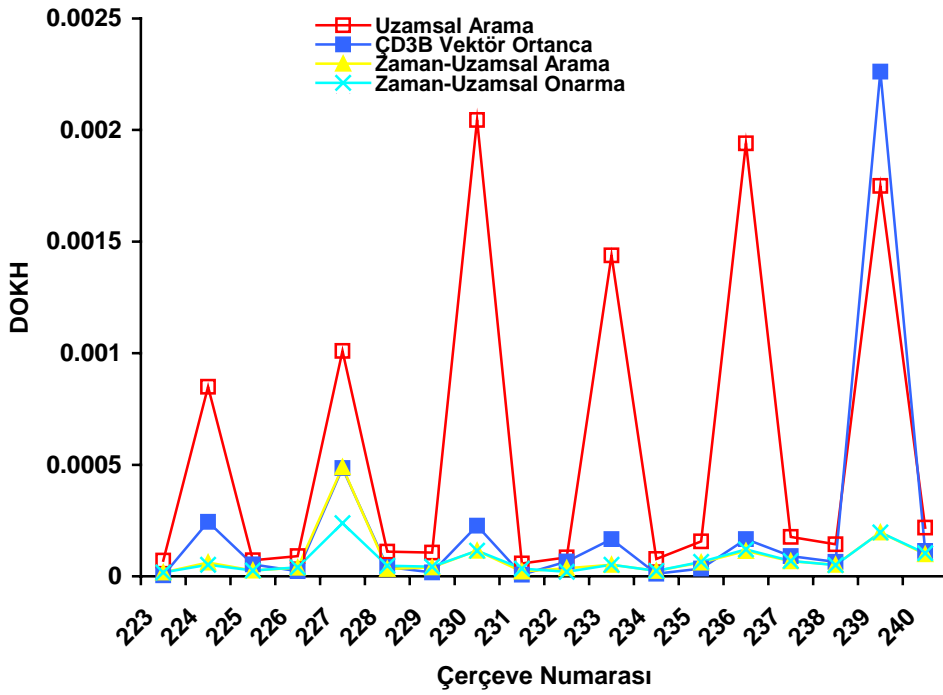
Şekil 3.22. Özgün ve sadece leke eklenmiş “Foreman” dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği



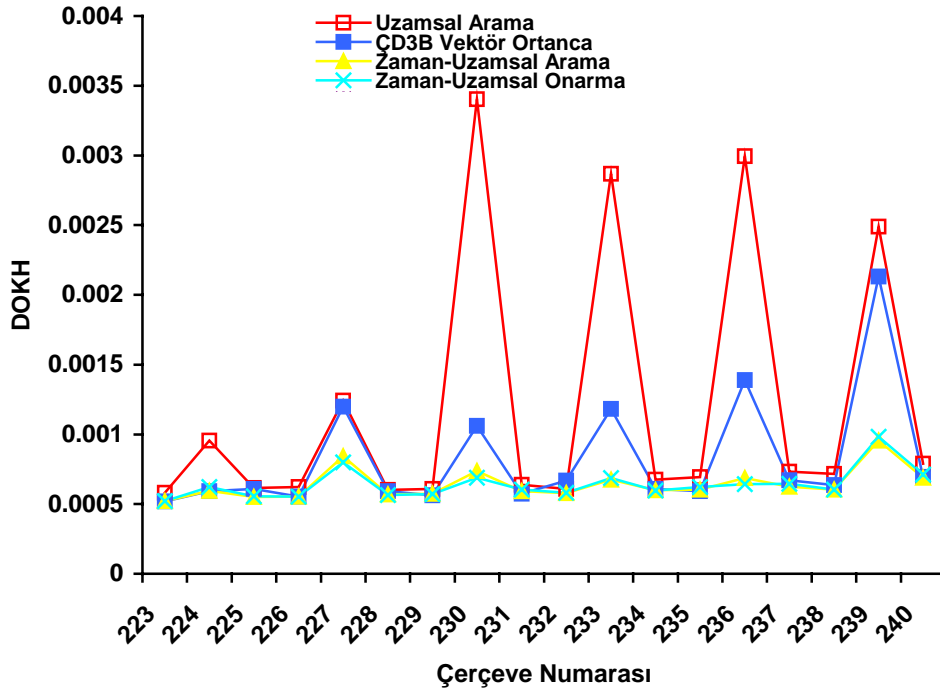
Şekil 3.23. Özgün ve % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği



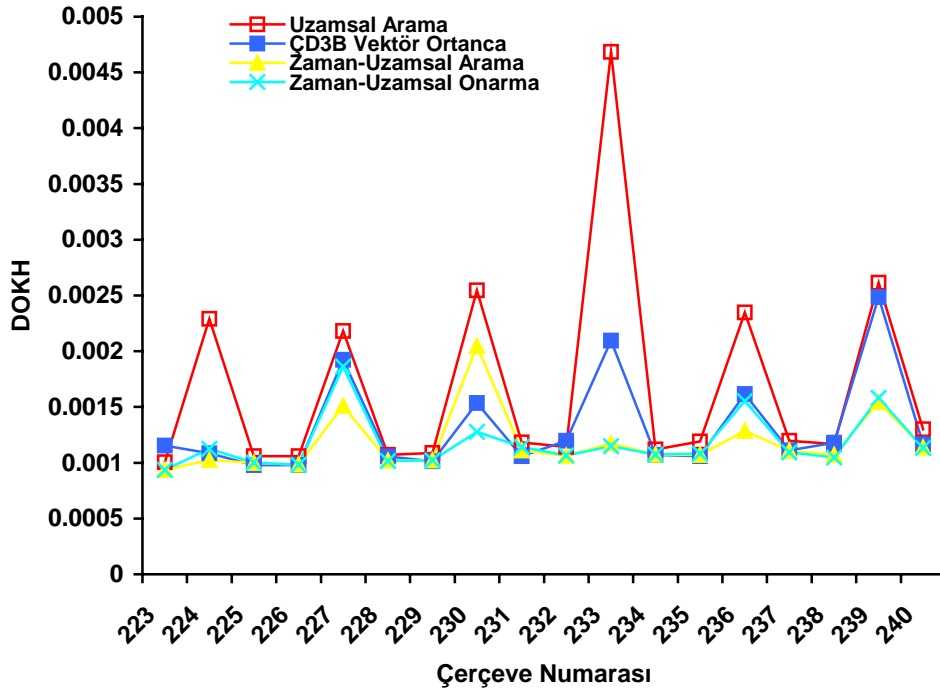
Şekil 3.24. Özgün ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği



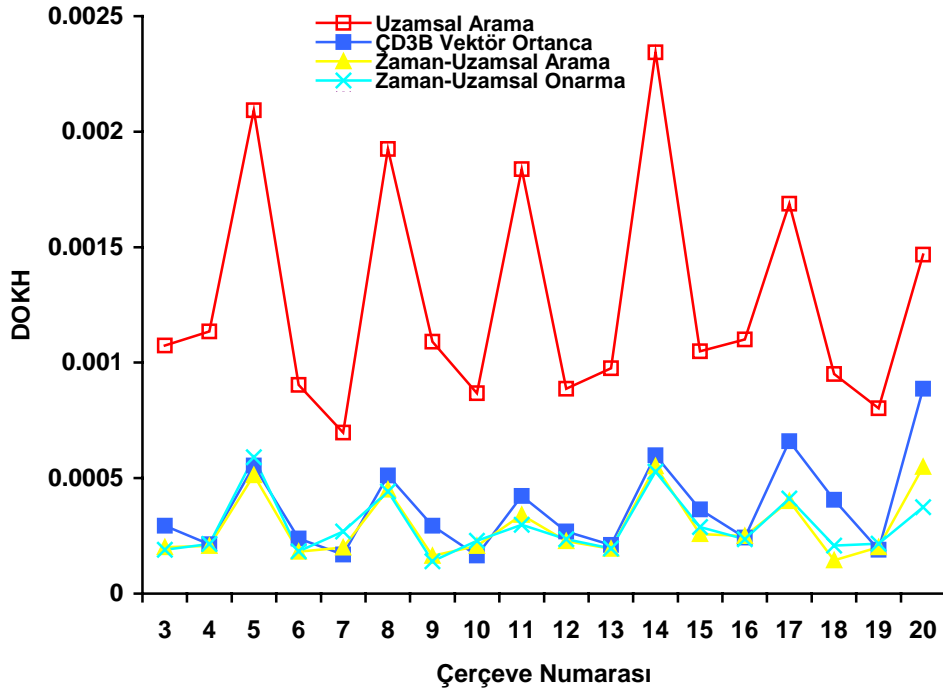
Şekil 3.25. Özgün ve sadece leke eklenmiş “Foreman” dizisinde 223 ile 240. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği



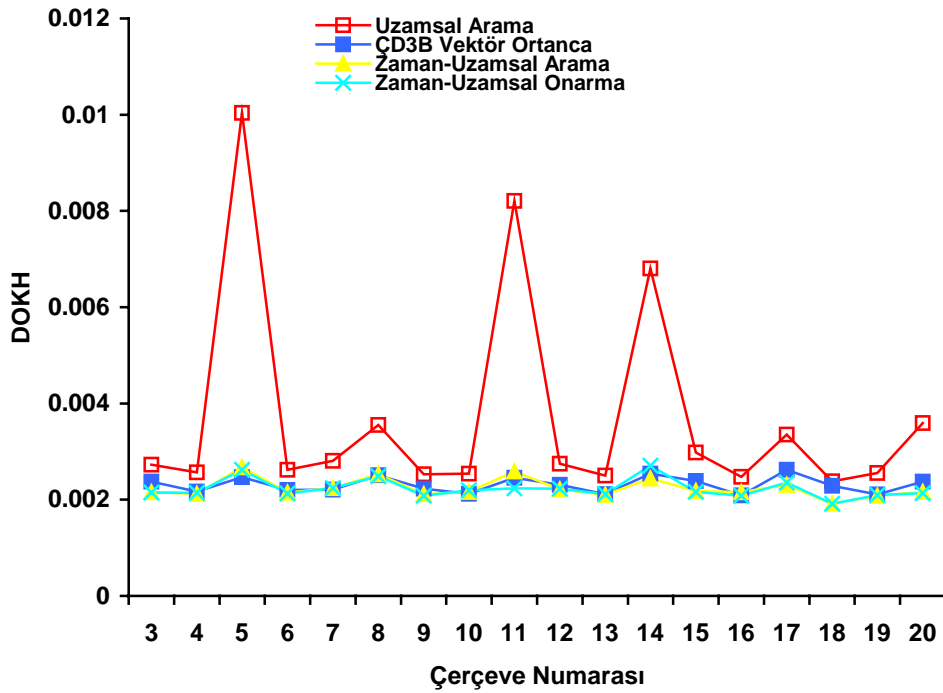
Şekil 3.26. Özgün ve % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinde 223 ile 240. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği



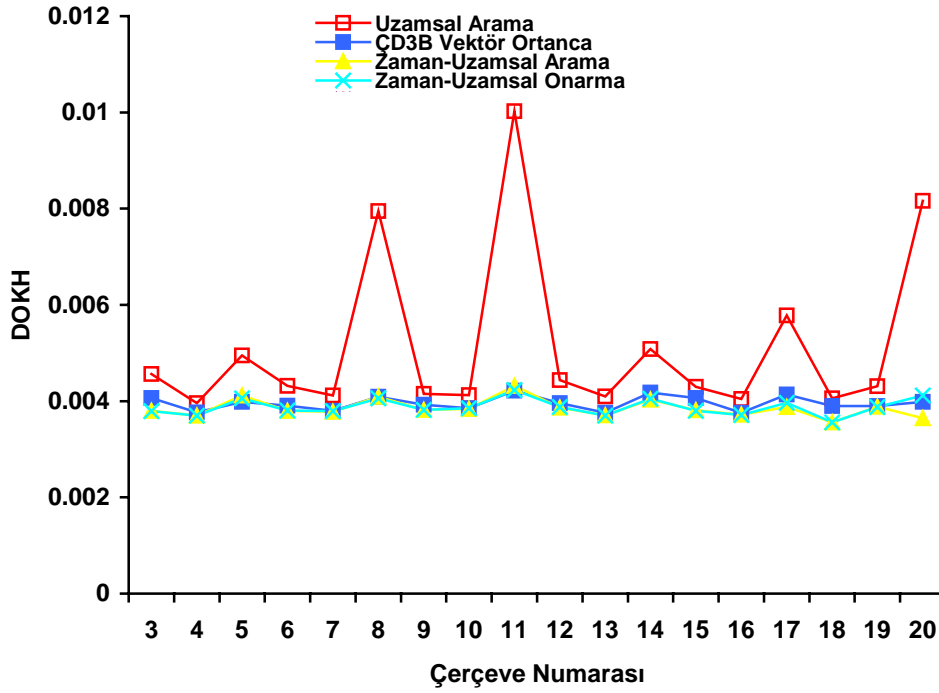
Şekil 3.27. Özgün ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinde 223 ile 240. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği



Şekil 3.28. Özgün ve sadece leke eklenmiş “CoastGuard” dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği



Şekil 3.29. Özgün ve % 0.1 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “CoastGuard” dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği

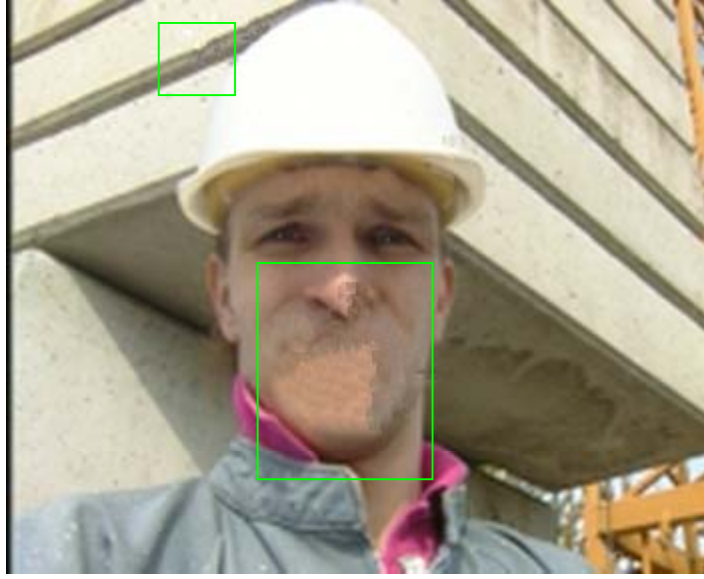


Şekil 3.30. Özgün ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “CoastGuard” dizisinde 3 ile 20. film çerçeveleri arasındaki DOKH grafiği

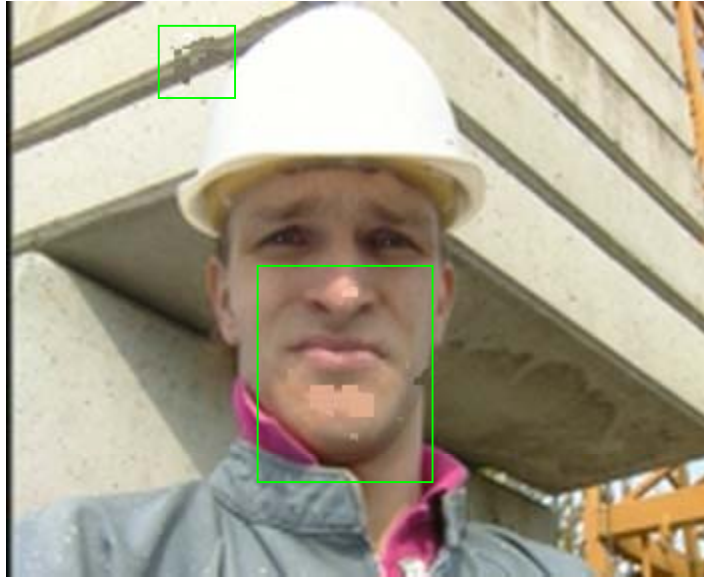
Özgün, yapay olarak % 0.1 ve % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin 20. ve 239. ve “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçeveleri için örnek-tabanlı uzamsal arama, ÇD3B vektör ortanca süzgeci, örnek-tabanlı zaman-uzamsal arama ve zaman-uzamsal veri terimi hesabına bağlı zaman-uzamsal arama yöntemleriyle elde edilen onarma sonuçları, sırasıyla Şekil 3.31, Şekil 3.32, Şekil 3.33, Şekil 3.34, Şekil 3.35, Şekil 3.36, Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39’da verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi, özellikle büyük boyutlu leke içeren bölgelerde hem veri terimi hesabı hem de arama işlemi zaman-uzamsal yapıldığında onarma başarımı oldukça iyi bir şekilde elde edilmiştir. Sadece Şekil 3.39’daki % 0.3 Gauss gürültüsü ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevesinde doldurulan bölgedeki deniz dalgası hedef bölgeye hatalı bir şekilde iletmiştir. Ayrıca “CoastGuard” dizisinin 20. film çerçevesinde lekeli bazı bölgelerin algılaması yapılamadığından onarma yöntemleriyle ilgili bölgelerin doldurulma işlemi de yapılamamıştır. Bu bölgeler şekillerde kırmızı renkle işaretlenmiştir. “CoastGuard” dizisindeki hedef bölgeler, “Foreman” dizisine göre örnek-tabanlı uzamsal arama



yöntemiyle başarılı bir şekilde doldurulmasına rağmen, diğer zaman-uzamsal yöntemlere göre, genelde başarısız bir görsel sonuç üretmektedir. Örnek-tabanlı uzamsal yöntemler, çimen veya deniz gibi doku içeren imgelerde genelde başarılı bir doldurma işlemi gerçekleştirmektedir. Ayrıca ÇD3B vektör ortanca süzgeci hareket kestirimine oldukça bağlı olduğundan, lekeli bölgelerde hatalı hareket kestiriminden dolayı başarısız bir onarma işlemi gerçekleştirmiştir. Örnek-tabanlı zaman-uzamsal onarma yöntemleri ise, hareket kestirme fazla bağımlı olmadıklarından, hatalı hareket kestirimi bile yapılsa, hedef bölgeyi başarılı bir şekilde doldurmuşlardır.



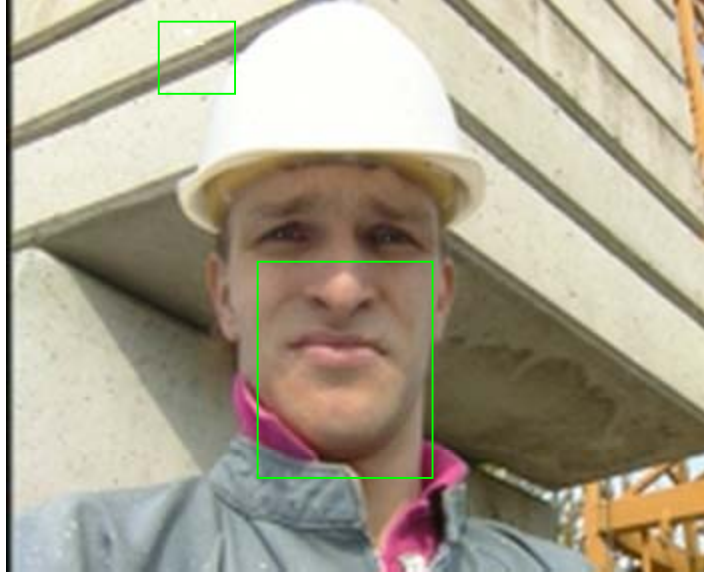
(a)



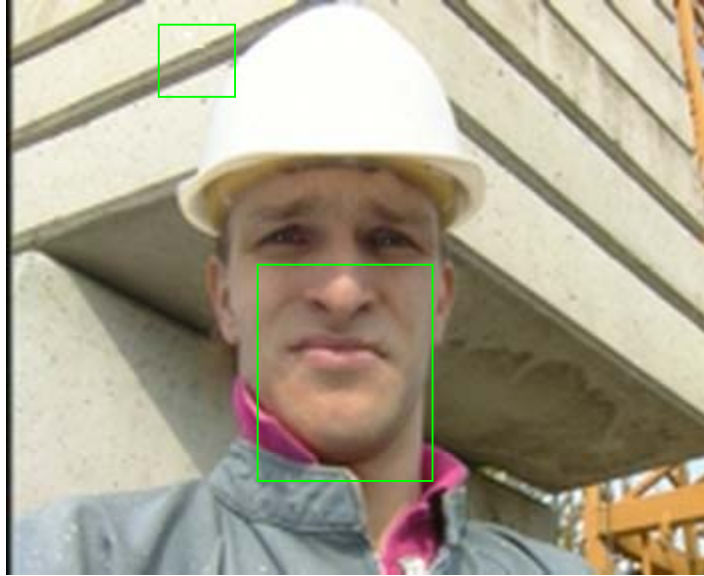
(b)

Şekil 3.31. Özgün “Foreman” dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma

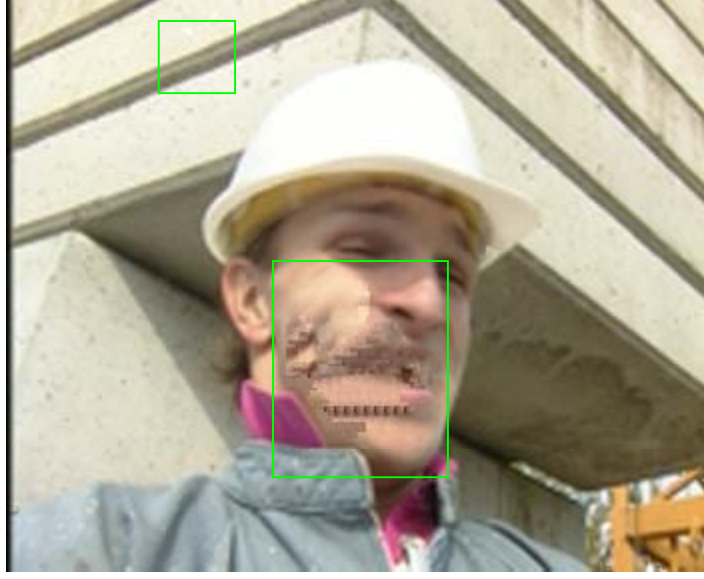
Şekil 3.31'in devamı



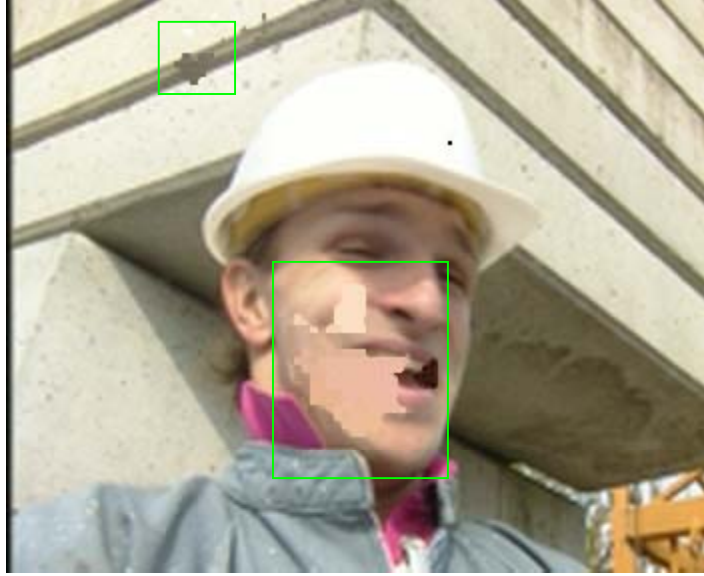
(c)



(d)



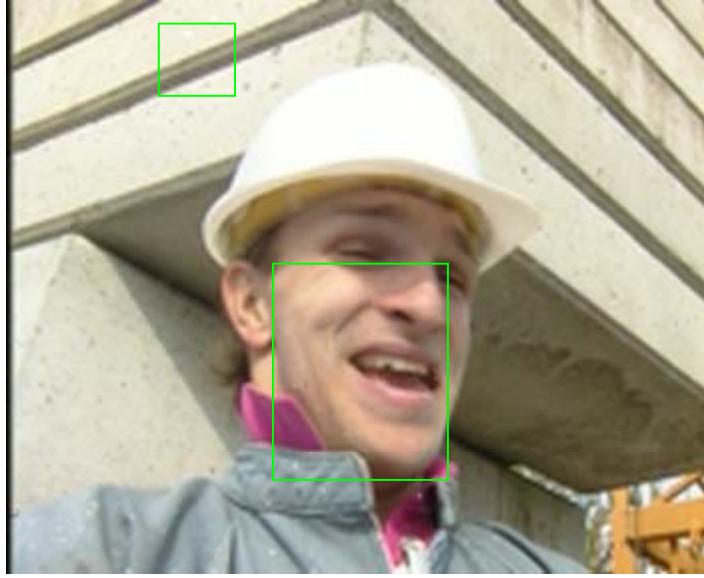
(a)



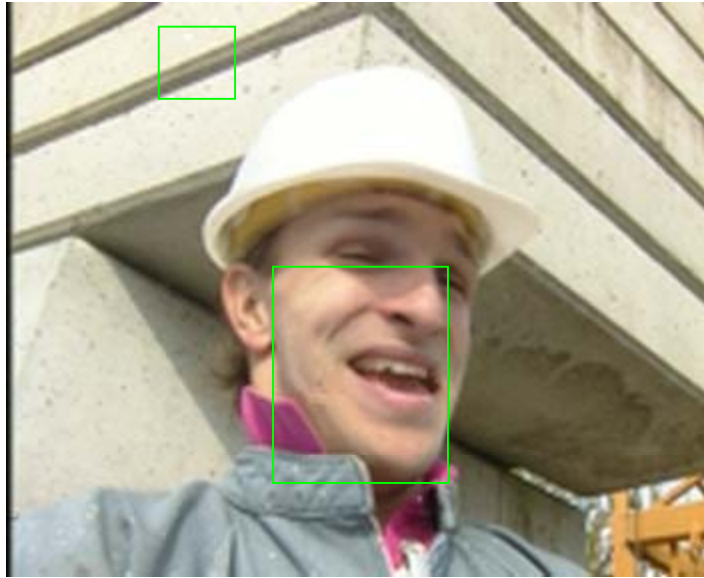
(b)

Şekil 3.32. Özgün “Foreman” dizisinin onarılmış 239. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma

Şekil 3.32'in devamı



(c)



(d)



(a)



(b)

Şekil 3.33. Özgün “CoastGuard” dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi:  
(a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma



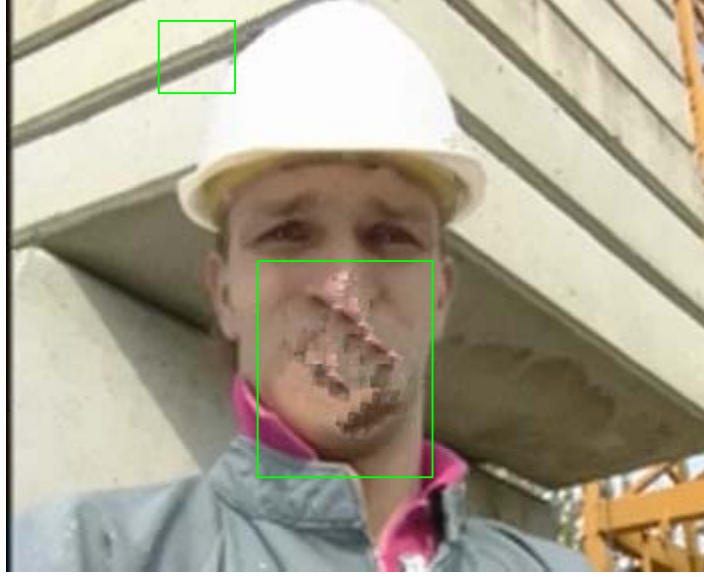
Şekil 3.33'ün devamı



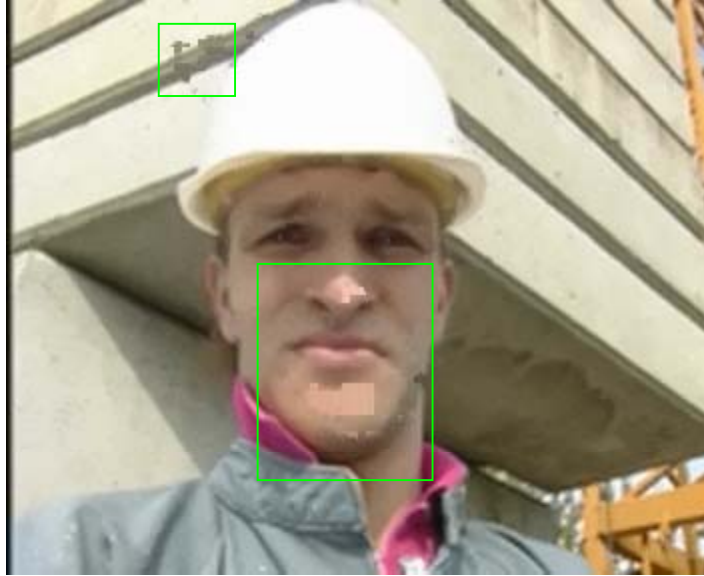
(c)



(d)



(a)

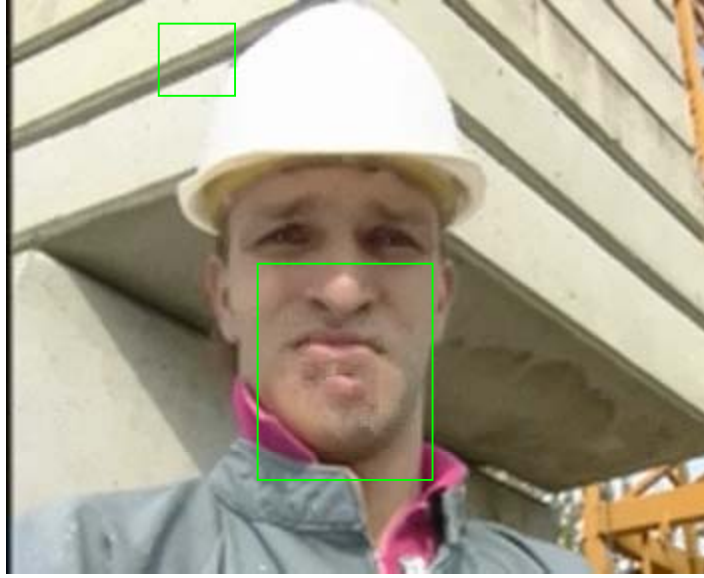


(b)

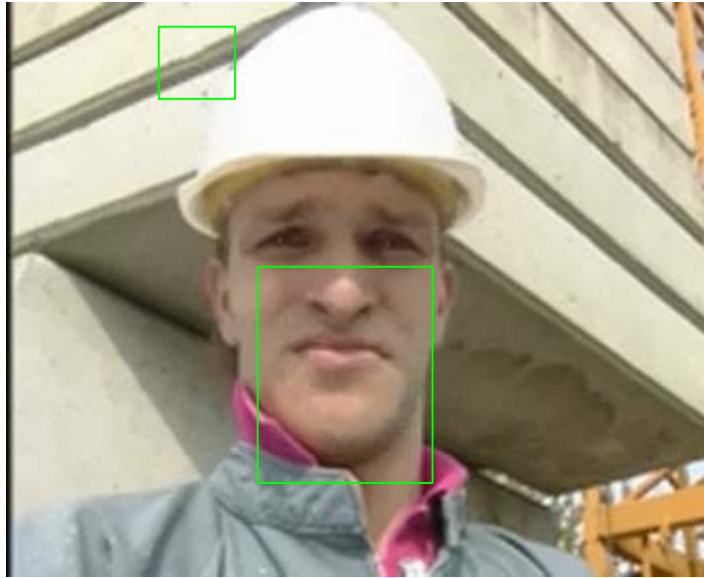
Şekil 3.34. % 0.1 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma



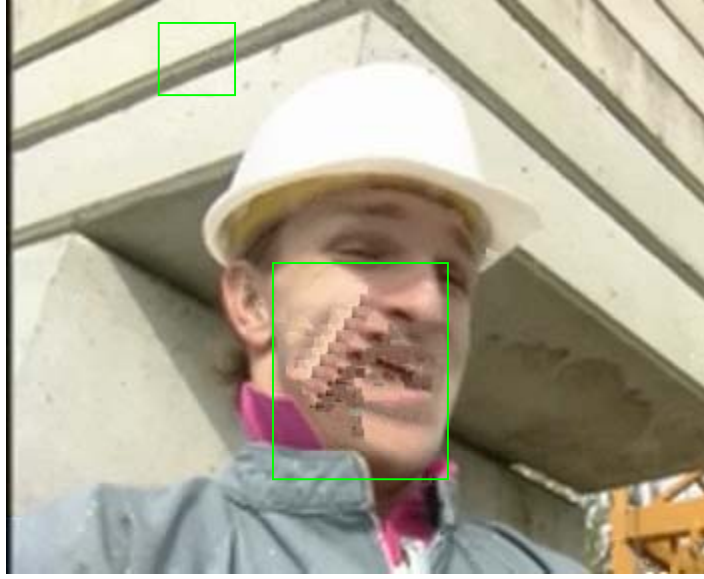
Şekil 3.34'ün devamı



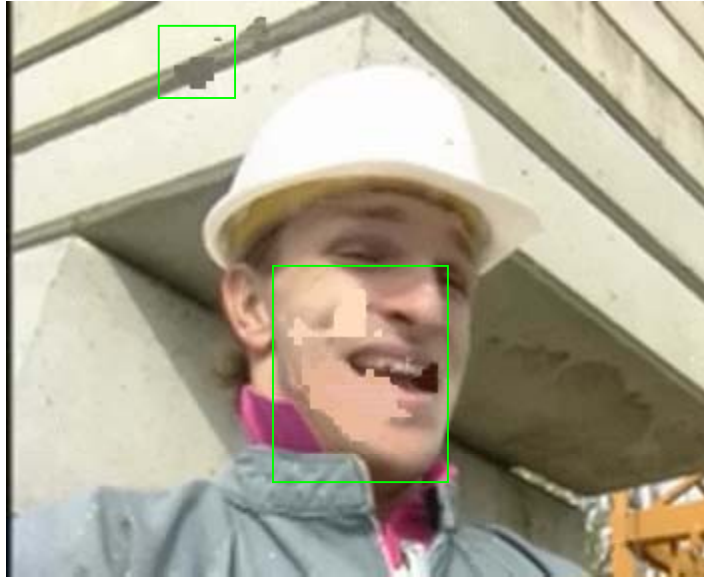
(c)



(d)



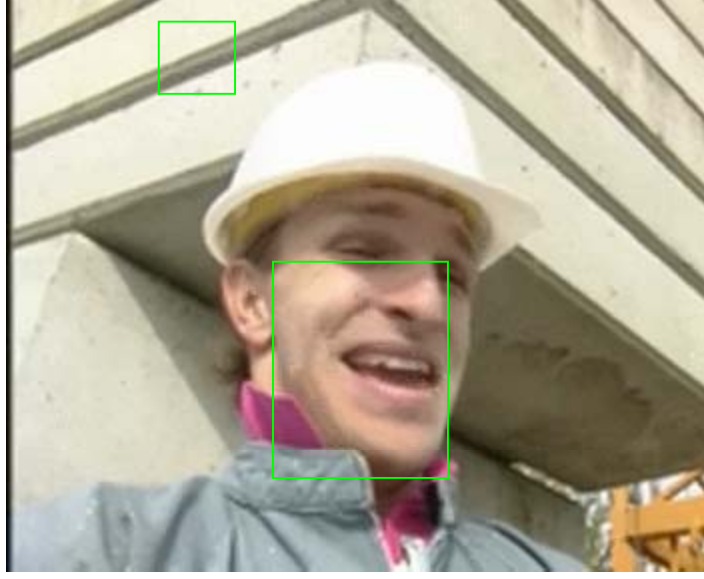
(a)



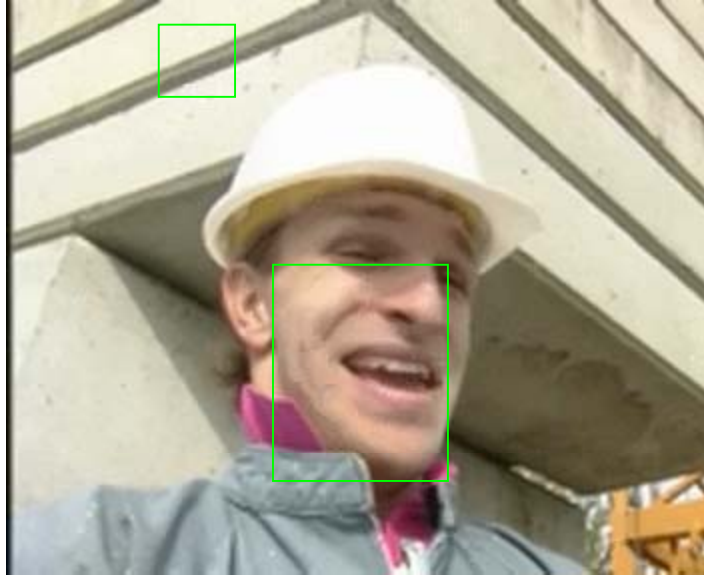
(b)

Şekil 3.35. % 0.1 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin onarılmış 239. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma

Şekil 3.35'in devamı



(c)



(d)



(a)



(b)

Şekil 3.36. % 0.1 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “CoastGuard” dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) Zaman-uzamsal onarma

Şekil 3.36'nın devamı

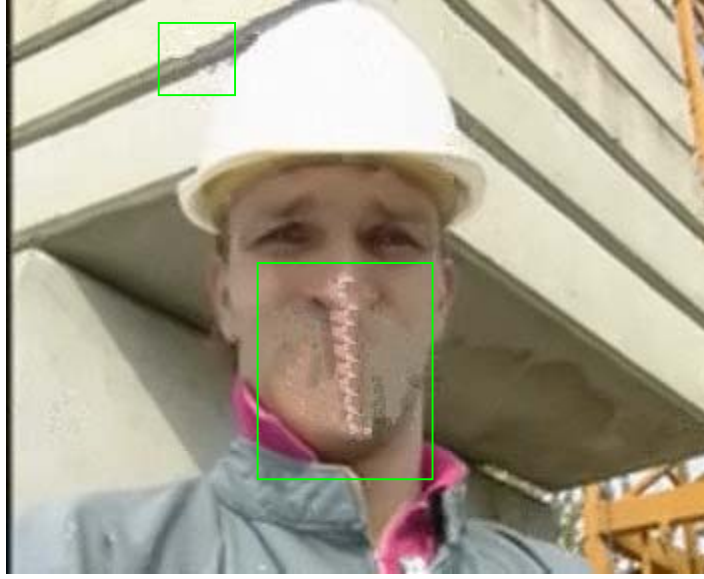


(c)

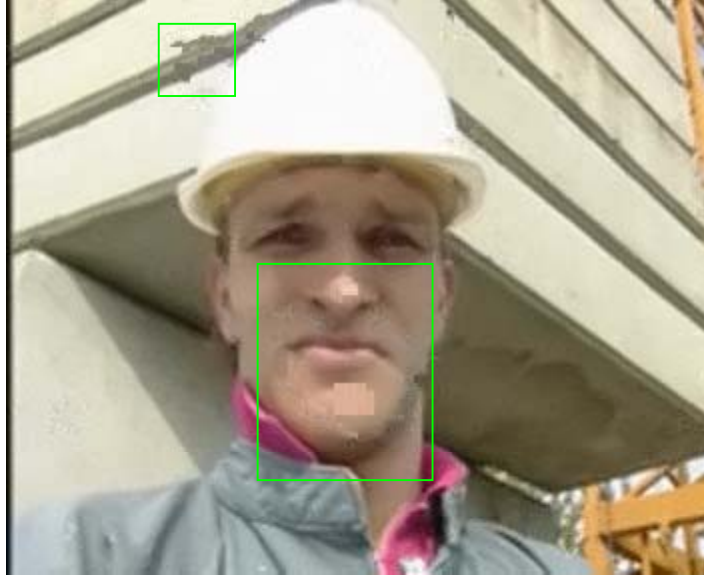


(d)





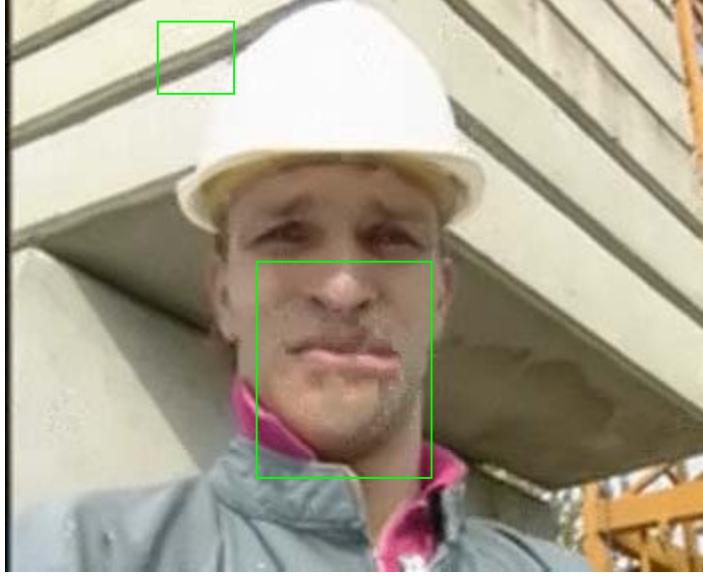
(a)



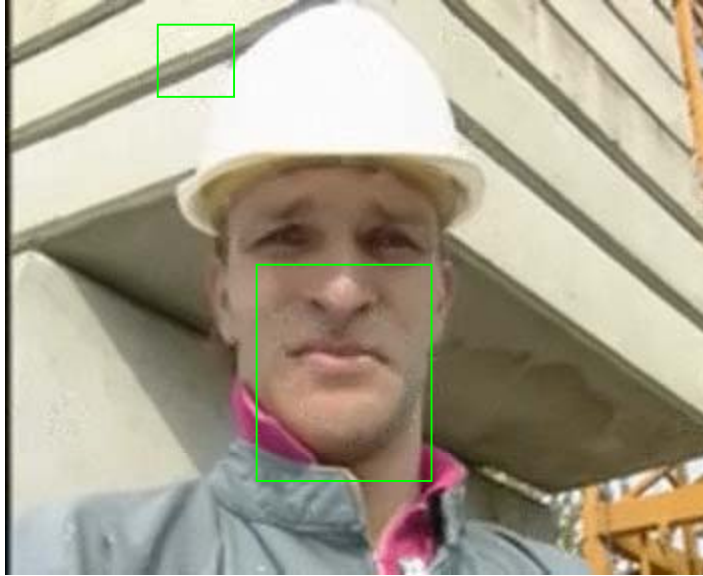
(b)

Şekil 3.37. % 0.3 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma

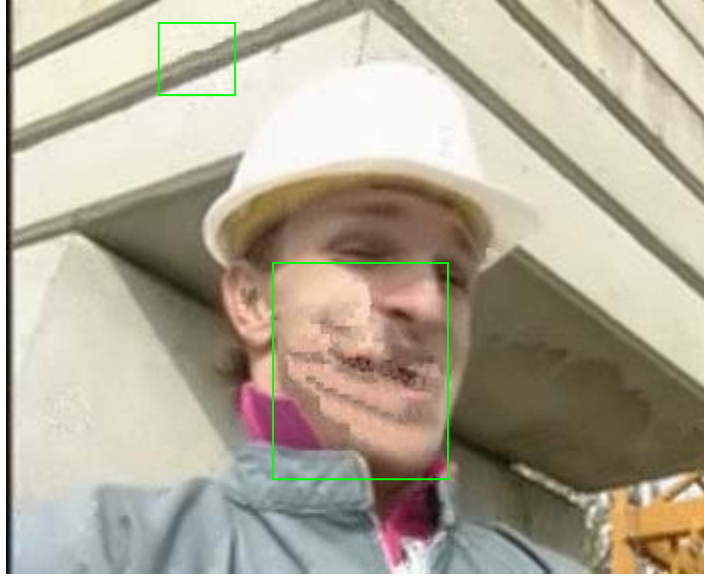
Şekil 3.37'nin devamı



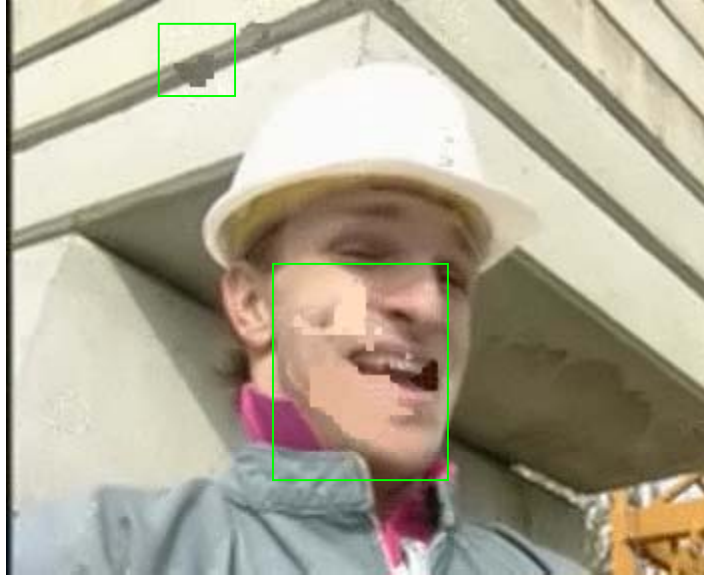
(c)



(d)



(a)

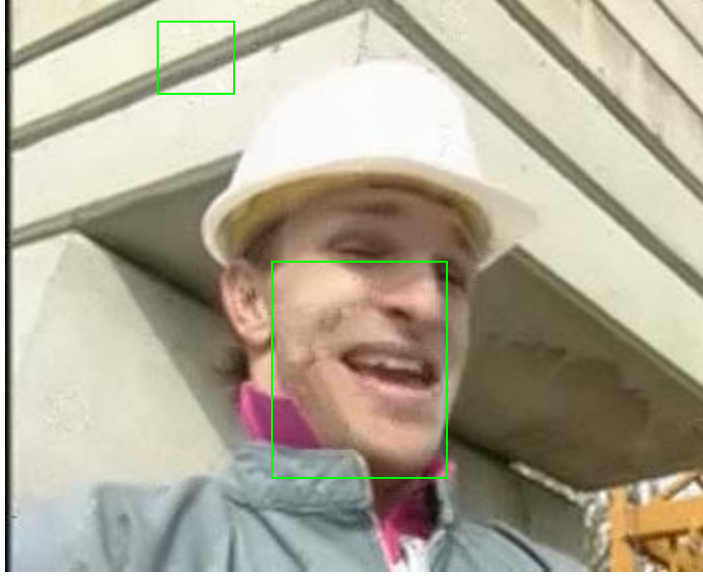


(b)

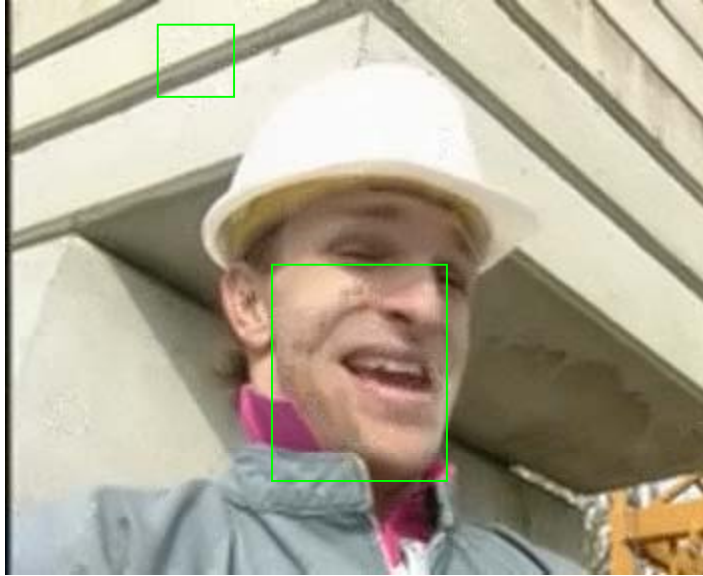
Şekil 3.38. % 0.3 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “Foreman” dizisinin onarılmış 239. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma



Şekil 3.38'in devamı



(c)



(d)



(a)



(b)

Şekil 3.39. % 0.3 Gauss ve leke eklendikten sonra gürültüsü azaltılmış “CoastGuard” dizisinin onarılmış 20. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) ÇD3B vektör ortanca, (c) zaman-uzamsal arama ve (d) zaman-uzamsal onarma

Şekil 3.39'un devamı



(c)



(d)

### 3.3. Gerçek Bozukluk İçeren İmge Dizilerinde Başarım Analizi

Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemi ile elde edilmiş gürültüsü azaltılmış gerçek bozukluk içeren dizinin 58. film çerçevesi Şekil 3.40'da verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, gürültüsü azaltılmış film çerçevelerindeki yapı ve doku bilgileri, gürültü yok etme işleminde bulanıklaştırılmamıştır.



Şekil 3.40. Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemiyle elde edilen gürültüsü azaltılmış gerçek bozukluk içeren dizinin 58. film çerçevesi

Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de, sırasıyla gerçek bozukluk içeren ve zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemiyle gürültüsü azaltılmış 58. film çerçevesinde leke içeren bölgelerdeki hareket vektörleri, hareket vektörü onarma modülü ile yeniden kestirilmiştir. Şekillerde yeşil renkle işaretlenmiş bölgelerdeki hatalı kestirilen hareket vektörleri, hareket vektörü onarma modülü ile doğru bir şekilde yeniden kestirilmesine rağmen, kırmızı renkle işaretli bölgedeki hareket vektörleri ise onarılamamıştır.



(a)



(b)

Şekil 3.41. Gerçek bozukluk içeren dizinin 58. film çerçevesinin hareket vektörleri: Lekeli bölgelerde (a) onarılmadan elde edilen hareket vektörü ve (b) hareket vektörü onarma modülü ile onarılarak elde edilen hareket vektörü





(a)

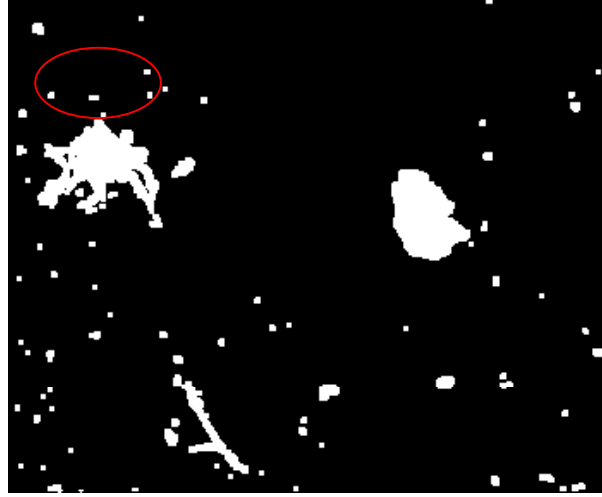


(b)

Şekil 3.42. Gürültüsü azaltılmış gerçek bozukluk içeren dizinin 58. film çerçevesinin hareket vektörleri: Lekeli bölgelerde (a) onarılmadan elde edilen hareket vektörü ve (b) hareket vektörü onarma modülü ile onarılarak elde edilen hareket vektörü

Şekil 3.43’de gerçek bozukluk içeren ve zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemiyle gürültüsü azaltılmış 58. film çerçevesi için  $AGAI_a$  leke algılama yöntemiyle algılanan lekeler beyaz renkte gösterilmiştir. Algılama eşiği  $T = 60$  olarak alınmıştır.  $AGAI_a$  leke algılama yöntemi hareket gezinelerine bağlı bozukluk algılama yaptığından, şekilde kırmızı renkle işaretli bölgedeki hareket vektörleri hareket vektörü onarma modülünde yeniden kestirilemediğinden, bu bölgedeki lekeler algılanamamıştır. Ayrıca gürültüsü azaltılmış gerçek bozukluk içeren 58. film çerçevesinde aynı eşik değeri

kullanılarak algılanan lekeler, gürültü azaltma işlemi uygulanmamış çerçevedekinden daha azdır.



(a)



(b)

Şekil 3.43. Gerçek bozukluk içeren dizide  $AGA\hat{I}_a$  yöntemiyle 58. film çerçevesindeki algılanan lekeler: (a) Özgün film çerçevesi ve (b) Gürültüsü azaltılmış film çerçevesi

Şekil 3.44 ve Şekil 3.45’de, sırasıyla gerçek bozukluk içeren ve zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalamalar yöntemiyle gürültüsü azaltılmış 58. film çerçevesi için onarma sonuçları verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi, imgedeki lekeli bölgeler, hem veri terimi hesabı hem de arama işlemi zaman-uzamsal yapıldığında, onarma başarımı oldukça iyi bir şekilde elde edilmiştir. İmge dizisi fazla karmaşık hareket içermediğinden,  $\mathcal{C}D3B$  vektör ortanca süzgeciyle elde edilen sonuçlarda da onarma başarımı iyi bir şekilde elde

edilmiştir. Fakat şekillerde kırmızı renkle işaretlenen bölgelerde leke algılaması yapılmadığından, bu bölgeler doldurulamamıştır.



(a)

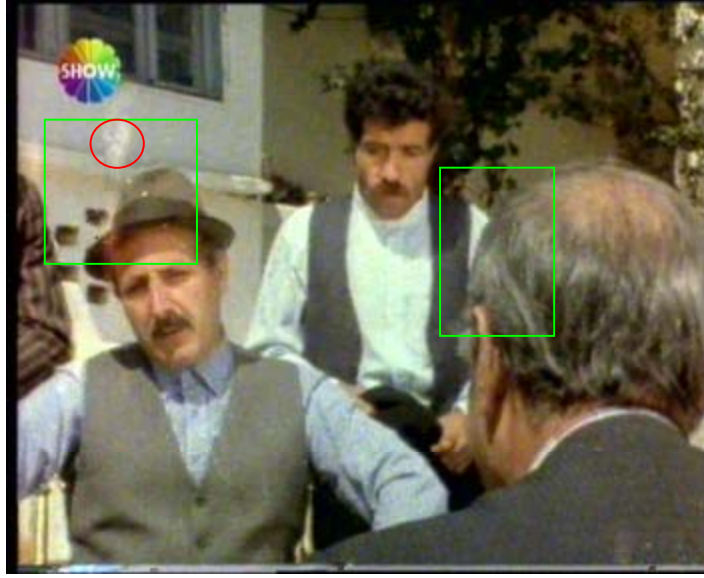


(b)

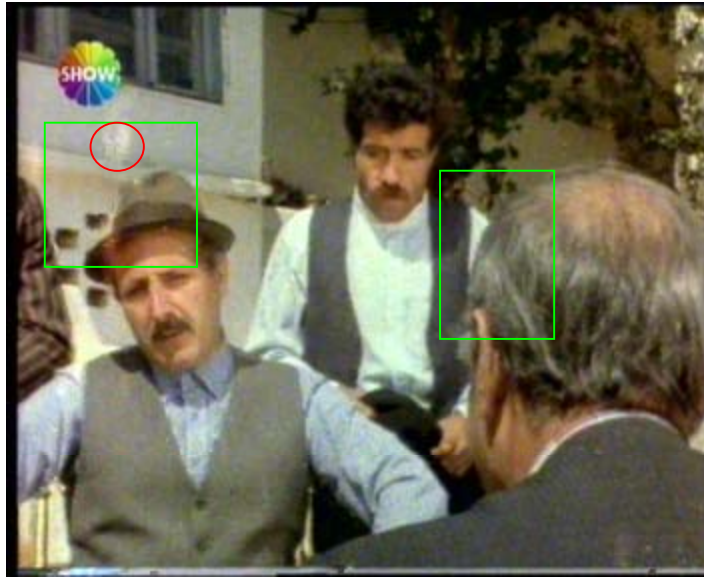
Şekil 3.44. Gerçek bozukluk içeren dizisinde onarılmış 58. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) zaman-uzamsal arama ve (c) zaman-uzamsal onarma



Şekil 3.44'ün devamı



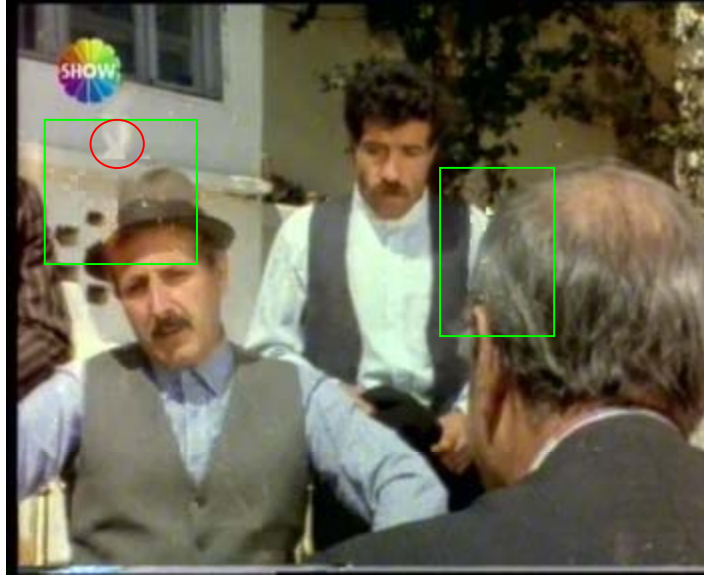
(c)



(d)



(a)



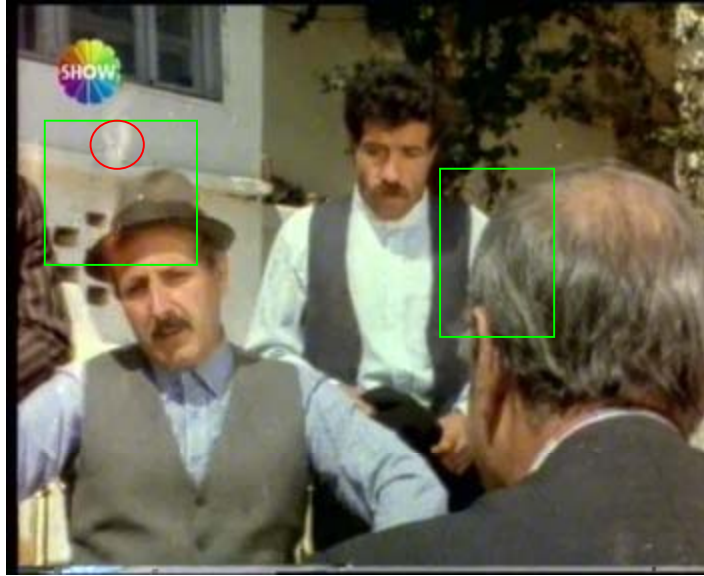
(b)

Şekil 3.45. Gürültüsü azaltılmış gerçek bozukluk içeren dizisinde onarılmış 58. film çerçevesi: (a) Uzamsal arama, (b) zaman-uzamsal arama ve (c) zaman-uzamsal onarma

Şekil 3.45'in devamı



(c)



(d)

Gerçek bozukluk içeren bir filmdeki sahne geçişleri, hareket kestirimde imge blok boyutu  $8 \times 8$  ve eşik değerleri  $T_1 = 300$  ve  $T_2 = 130$  alınarak, film çerçevesi büyük boyutlu leke dahi içerse, % 100 bir başarımla algılanmıştır. Fakat geliştirilen onarma modülü sahne geçişleri için herhangi bir onarma işlemi gerçekleştirmemektedir.

Yöntemler, Pentium 2.4 GHz (512 MB RAM) işlemcili bir dizüstü bilgisayarda koşulmuştur. Bir film çerçevesinin onarılması için gerekli olan zaman, imge boyutuna,

hareket miktarına ve bozukluk içeren bölgelerin boyutlarına bağı olarak değişmektedir. Gerçek bozukluk içeren gürültüsü azaltılmış dizinin 58. film çerçevesi, geliştirilen zaman-uzamsal onarma yöntemiyle 22 s.'de onarılmıştır. MMX emir takımı kullanılarak hareket kestirimi ise, 0.77 s.'de yapılmıştır.

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tezde, yapay olarak gürültü ve leke eklenmiş ve özgün leke içeren imge dizilerindeki bozuklukların otomatik olarak algılanması ve onarılması için bir yöntem geliştirilmiş ve yöntemin başarımlı sonuçları verilmiştir. Geliştirilen yöntem, hareket kestirimi, hareket vektörü onarma, leke algılama ve örnek-tabanlı zaman-uzamsal onarma modüllerinden oluşmaktadır. Lekeli bölgelerde karmaşık hareket olması durumunda tam olarak hareket kestirimini gerçekleştireme bile, genelde bu içboyama bölgeleri, leke algılama modülü ile otomatik olarak algılanmakta ve örnek-tabanlı zaman-uzamsal yöntemlerle başarılı bir şekilde onarılabilmektedir.

Zaman-uzamsal yerel olmayan-ortalama gürültü azaltma yönteminde olduğu gibi hareket kestiriminden bağımsız bir onarma yönteminin geliştirilmesi, bozukluk algılama ve onarma işlemlerindeki başarımlı oranını oldukça artıracaktır. Ayrıca kaynak bölgedeki eşit düzey çizgilerinin daha iyi bir şekilde hedef bölgeye doğru ilerletilmesini gerçekleştirecek bir yöntem geliştirilmesi, hedef bölgenin kabul edilebilir imge parçaları ile doldurulmasını sağlayacaktır.

Filmdeki sahne geçişlerinin algılanmasına bağımlı bir onarma sistemi geliştirilerek, onarma başarımlı daha da iyileştirilebilir. Geliştirilen onarma modülü sadece sahne geçişlerini algılamakta; fakat sahne geçişlerine bağımlı bir onarma işlemi gerçekleştirmemektedir. Çünkü hareket vektörü onarma modülü, ardışık 3 film çerçevesini dikkate aldığından, ilgili çerçevelerde sahne geçişi olması durumunda, lekeden dolayı hatalı kestirilen hareket vektörlerinin yeniden kestirilmesi yapılamayacaktır. Dolayısıyla leke algılama modülü yanlış çalışacaktır. Aslında filmdeki bozukluklar, örneğin imge veya imge dizisi bölütlemesi yapılarak hareket kestirimden bağımsız olarak algılanabilse, algılanan bozuk imge bölgeleri, yürürlükteki çerçeve veya ardışık iki film çerçevesi kullanılarak onarılabılır.

Diğer bir iyileştirme de ardışık 3 film çerçevesi yerine, daha fazla çerçevenin kullanılması olabilir. Daha fazla çerçeve kullanımı [48]'de olduğu algılama ve onarma işlemlerindeki başarımlı iyileştirebilir; fakat onarma yönteminin, eğer yöntem hareket kestirime çok daha fazla bağımlı olursa, lekeli bölgelerde doğru hareket kestirimi

yapılamadığı zaman başarısızlıkla sonuçlanacağı ortadadır. Ayrıca bu durumda hareket kestirimi oldukça fazla hesapsal yoğunluk da getirecektir.

Geliştirilen onarma modülünde hareket kestirimi, imge dizilerinin sadece parlaklık bileşenine göre yapıldığından, bazı durumlarda sorun çıkacağı açıktır. Bu durumda renk bileşenlerinin de göz önüne alınmasıyla daha doğruluklu bir hareket kestirimi yapılabilir. Ayrıca blok tabanlı değil de piksel tabanlı, örneğin optik akışa dayalı hareket kestirimleri bloklama etkilerini ortadan kaldıracaktır; fakat optik akış yöntemleri açıklık sorunlarına da neden olabilmektedir.

Geliştirilen yöntem, leke gibi sadece yerel bozuklukların otomatik olarak algılanması ve onarılması işlemini gerçekleştirmektedir. Yöntem, ayrıca filmdeki uzun dikey çizgilerin, alt yazıların ve TV kanallarının logolarının yok edilmesi için de kolayca uyarlanabilir.

Ayrıca onarma yöntemleri, leke gibi bozuklukların haricinde diğer bozukluklar için de uygulanabilir. MPEG v.b. videolar, iletim esnasında bozulmaya uğradığı zaman, eksik bilgileri içeren bölgeler, ayrıca algılama işlemine gerek olmadan onarma yöntemleri tarafından başarılı bir şekilde yeniden kestirilebilir.

## 5. KAYNAKLAR

1. Grossauer, H., Completion of Images with Missing Data Regions, Doktora Tezi, University of Innsbruck, Institute of Computer Science, Innsbruck, Avusturya, 2005.
2. Cang, R.-H., Sie, Y.-H., Chou, S.-M. ve Shih, T. K., Photo Defect Detection for Image Inpainting, Seventh IEEE International Symposium on Multimedia (ISM'05), Aralık 2005, Irvine, ABD, 403-407.
3. Eaves P., Traditional Film Restoration Techniques in a Digital World, SMPTE Journal, (1998) 224-225.
4. Morris, R. D., Image Sequence Restoration Using Gibbs Distributions, Doktora Tezi, Cambridge University, İngiltere, 1995.
5. Forbin, G., Besserer, Boldys, B. J. ve Tschumperlé, D., Temporal Extension to Exemplar-based Inpainting Applied to Scratch Correction in Damaged Images Sequences, IASTED VIIP'2005, Eylül 2005, Benidorm, İspanya.
6. Wu, Y. ve Suter, D., Historical Film Processing, Proceedings of SPIE, 2564 (1996) 289-300.
7. Kokaram, A., Rayner, P., Van Roosmalen ve Biemond, J., Line Registration of Jittered Video, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing(ICASSP), 1997.
8. Telea, A., An Inpainting Technique Based on the Fast Marching Method, J. Graphics Tools, 9,1 (2004) 23-34.
9. Bertalmio, M., Sapiro, G., Caselles, V. ve Ballester, C., Image Inpainting, Proceeding of SIGGRAPH 2000, 2000, 417-424.
10. Chan, T. ve Shen, J., Mathematical Models for Local Deterministic Inpaintings, Technical Report CAM 00-11, Image Processing Research Group, UCLA, 2000.
11. Chan, T. ve Shen, J., Non Texture Inpainting by Curvature-Driven Diffusions (CCD), Technical Report CAM 00-35, Image Processing Research Group, UCLA, 2000.
12. Masnou, S., Disocclusion: A Variational Approach Using Level Lines, IEEE Trans. Image Proc., 11, 2 (2002) 68-76.
13. Oliveira, M., Bowen, B., McKenna, R. ve Chang, Y.-S., Fast Digital Image Inpainting, Proceedings of VIIP 2001, 2001, 261-266.

14. Levin, A., Zomet, A. ve Weiss Y., Learning How to Inpaint from Global Image Statistics, Proceedings of the Ninth IEEE International Conference on Computer Vision, 2, 2003, 305-312.
15. Ashikhmin, M., Synthesizing Natural Textures, Proceedings of ACM Symposium on Interactive 3D Graphics, Research Triangle Park, 2001.
16. Efros, A. ve Freeman, W., T., Image Quilting for Texture Synthesis and Transfer, Proceedings of ACM Conference on Computer Graphics, Eugene Fiume, Ağustos 2001, 341-346.
17. Efros, A. ve Leung, T., K., Texture Synthesis by Nonparametric Sampling, Proceedings of ICCV, Kerkyra, Yunanistan, Eylül 1999, 1033-1038.
18. Liang, L., Liu, C., Xu, Y., -Q, Guo, B. ve Shum, H., -Y, Real-time Texture Synthesis by Patch Based Sampling, ACM Transactions on Graphics, 2001.
19. Bertalmio, M., Vese, L., Sapiro, G. ve Osher, S., L., Simultaneous Structure and Texture Image Inpainting, IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2003.
20. Harrison, P., A Non-hierarchical Procedure for Resynthesis of Complex Texture, Proc. Int. Conf. Central Europe Comp. Graphics, Visua. And Comp. Vision, Plzen, Çek Cumhuriyeti, Ocak 2001.
21. Bornand, R., Lecan, E., Laborelli, L. ve Chenot, J., -H., Missing Data Correction in Still Images and Image Sequences, Proceedings of ACM Multimedia, 2002.
22. Drori, I., Cohen-Or, D., Yeshurun, H., Fragment-Based Image Completion, ACM Transactions on Graphics, 22, 3 (2003) 303-312.
23. Grossauer, H., A Combined PDE and Texture Synthesis Approach to Inpainting, European Conference on Computer Vision, LNCS 3022, Springer, 2004.
24. Criminisi, A., Perez, P. ve Toyama, K., Region Filling and Object Removal by Exemplar-Based Inpainting, IEEE Trans. Image Proc., 13, 9 (2004) 1200-1212.
25. Kumar, S., Biswas, M., Belongie, S. J. ve Nguyen, T., Q., Spatio-Temporal Texture Synthesis and Image Inpainting for Video Applications. ICIP, 2, 2005, 85-88.
26. Perez, P., Gangnet, M. ve Blake, A., PatchWorks: Example-Based Region Tiling for Image Editing, Technical Report MSR-TR-2004-04, Microsoft Research, Redmond, 2004.
27. Shao, X., Liu, Z. ve Li, H., An Image Inpainting Approach Based on the Poisson Equation, DIAL'06, Lyon, Fransa, Nisan 2006.



28. Wang, J., -F., Hsu, H.-J. ve Liao, S.-C., A Novel Framework for Object Removal from Digital Photograph, IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2005, 2, Eylül 2005.
29. Stiller, C. ve Konrad, J., Estimation Motion in Image Sequence: A Tutorial Modeling and Computation of 2D Motion, IEEE Signal Processing Magazine, 16, 2 (1999) 70-91.
30. Tekalp, A. M., Digital Video Processing, Prentice Hall, 1995.
31. Rares, A., Reinders, M. J. T. ve Biemond, J., Statistical Analysis of Pathological Areas, Digital Restoration of Film and Video Archived, Londra, 2001, 8, 1-28.
32. Sezan, M., I. ve Lagendijk, L. G., Motion Analysis and Image Sequence Processing, Kluwer Academic Publisher, 1993.
33. Schallauer, P., Digital Image Sequence Restoration, Doktora Tezi, Technical University of Graz, 1996.
34. Kokaram, A. C., Motion Picture Restoration, Doktora Tezi, Cambridge University, 1993.
35. Kokaram, A. C., Motion Picture Restoration, Springer Verlag, 1998.
36. Weickert , J. ve Schnörr , C., Variational Optic Flow Computation with a Spatio-Temporal Smoothness Constraint, Journal of Mathematical Imaging and Vision, 14 (2001) 245-255.
37. Buades, A., Coll, B. ve Morel, J. M., Denoising Image Sequences Does not Require Motion Estimation, CMLA 2005-18, 2005.
38. Young, R. W. ve Kingsbury, N. G., Frequency Domain Motion Estimation Using a Complex Lapped Transform, IEEE Transaction on Image Processing, 2, 1 (1993) 2-17.
39. Dufaux, F. ve Moschei, F., Motion Estimation Techniques for Digital TV: A Review and a New Contribution, Proceedings of the IEEE, 83, 5 (1995) 858-876.
40. Bhaskaran, V. ve Konstantinides, K., Image and Video Compression Standards: Algorithms and Architectures, Kluwer Academic Publisher, 1995.
41. Netravali, A. N. ve Haskel, B. G., Digital Pictures: Representation, Compression and Standards, Plenum Press, 1995.
42. Bierling, M., Displacement Estimation by Hierarchical Block Matching, SPIE Visual Communications and Image Processing, 1001, (1988), 942-951.

43. Boyce, J., Noise Reduction of Image Sequences Using Adaptive Motion Compensated Frame Averaging, Proceedings of the IEEE ICASSP, 3 (1992) 461-464.
44. Kokaram, A. C., Morris, R. D., Fitzgerald, W. J. ve Rayner, P. J. W., Interpolation of Missing Data in Image Sequences, IEEE Transactions on Image Processing, 4,11 (1995) 1509-1519.
45. Storey, R., Electronic Detection and Concealment of Film Dirt, SMPTE Journal, (1985) 642-647.
46. Kokaram, A. C., Morris, R. D., Fitzgerald, W. J. ve Rayner, P. J. W., Detection of Missing Data in Image Sequences, IEEE Transactions on Image Processing, 4, 11 (1995) 1496-1508.
47. Nadenau, M. J. ve Mitra, S. K., Blotch and Scratch Detection in Image Sequences Based on Rank Ordered Differences, Proceedings of 5th International Workshop on Time-Varying Image processing, Florence, İtalya, 1996, 27-35.
48. Gangal, A., Kayıkçioğlu, T., ve Dizdaroğlu, B., An Improved Motion-Compensated Restoration Method for Damaged Color Motion Picture Films, Signal Processing: Image Communication, 19 (2004) 353-368.
49. Buisson, O., Besserer, B. ve Boukir, S., Deterioration Detection for Digital Film Restoration, Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1997, 78-84.
50. Chong, M. N., Goh, W. B., Liu, P. ve Krishnan, D., A New Spatio-Temporal MRF Model for the Detection of Missing Data in Image Sequences, IEEE ICASSP'97, 4 (1997) 2557-2560.
51. Wischeermann, G., The Digital Wetgate: A Third-Generation Noise Reducer, SMPTE Journal, (1996) 95-100.
52. Geman, S., McClure, D. E. ve Geman, D., A Nonlinear Filter for Film Restoration and Other Problems in Image Processing, CVGIP: Graphical Models and Image Processing, 54, 4 (1992) 281-289.
53. Chong, M. N., Goh, W. B., Kalra, S. ve Krishnan, D., A Multiprocessor Motion Picture Restoration System, International Journal of Information Technology, 3, 1 (1997) 1-16.
54. Goh, W. B., Chong, M. N., Kalra, S. ve Krishnan, D., Bi-directional 3D Auto-Regressive Model Approach to Motion Picture Restoration, IEEE ICASSP'96, Mayıs 1996, 2277-2280.
55. Grossauer, H., Inpainting of Movies Using Optical Flow, Mathematical Methods in Registration for Applications in Industry and Medicine, Springer Verlag Publisher, 2006.

56. Lauze, F. ve Nielsen, M., A Variational Algorithm for Motion Compensated Inpainting, Proceedings of the British Machine Vision Conference, 2004, 777-787.
57. Wexler ,Y., Shechtman, E. ve Irani, M., Space-Time Video Completion, CVPR04, I, 2004, 120–127.
58. Matsushita, Y., Ofek, E., Ge, W., Tang, X. ve Shum, H.-Y., Full-Frame Video Stabilization with Motion Inpainting, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), 28, 7 (2006) 1150-1163.
59. Lindenbaum, M., Fischer, M. ve Bruckstein, A. M., , On Gabor Contribution to Image Enhancement, Pattern Recognition, 27 (1994) 1-8.
60. Alvarez, L., Lions, P.-L. ve Morel, J.-M., Image Selective Smoothing and Edge Detection by Non Linear Diffusion (II), SIAM Journal of Numerical Analysis, 29 (1992) 845-866.
61. Guichard, F., Morel, J.-M. ve Ryan, R., Image Analysis and P.D.E.'s, Preprint.
62. Yaroslavsky, L. ve Eden, M., Fundamentals of Digital Optics, Birkhauser, Boston, 1996.
63. Yaroslavsky, L. P., Digital Picture Processing - An Introduction, Springer Verlag, 1985.
64. Coifman, R. R. ve Donoho, D., Translation-Invariant Denoising, Wavelets and Statistics, Springer Verlag, (1995) 125-150.
65. Plataniotis, K. N. ve Venetsanopoulos, A. N., Color Image Processing and Applications, Springer Verlag, 2000.
66. Buades, A., Coll, B. ve Morel , J.-M., A Non-local Algorithm for Image Denoising, IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2005.
67. Zhu, S. ve Ma, K. K., A New Diamond Search Algorithm for Fast Block Matching Motion Estimation, Proc. of Int. Conf. Information, Communications and Signal Processing, 1, 292-6, 1997.
68. Koga, T., Iinuma, K., Hirano, A., Iijima, Y. ve Ishiguro, T., Motion Compensated Interframe Coding for Video Conferencing, Proc. Nat. Telecommun. Conf., New Orleans, LA, 1981.
69. Jain, J. R. ve Jain, A. K., Displacement Measurement and Its Application in Interframe Image Coding, IEEE Trans. Commun., COM -29 (1981) 1799-1808.

70. Li, R., Zeng, B. ve Liou, M. L., A New Three-Step Search Algorithm for Block Motion Estimation, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 4, 4 (1994) 438-442.
71. Tourapis, A. M., Au, O. C., Liou, M. L. ve Shen, G., Status Report of Core Experiment on Fast Block-Matching Motion Estimation using Advanced Diamond Zonal Search with Embedded Radar, in ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG99/m4980, Melbourne, Australia, 1999.
72. Tourapis, A. M., Shen, G., Liou, M. L., Au, O. C. ve Ahmad, I.: A New Predictive Diamond Search Algorithm for Block Based Motion Estimation, Proc. Of Visual Comm. And Image Proc., 2000.
73. Tham, J. Y., Ranganath, S., Ranganath, M. ve Kassim, A. A., A Novel Unrestricted Center-Biased Diamond Search Algorithm for Block Motion Estimation, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 8 (1998) 369-377.
74. Tourapis, A. M., Au, O. C. ve Liou, M. L., Fast Motion Estimation Using Circular Zonal Search, Proc. of SPIE Sym. of Visual Comm. & Image Processing, VCIP'99, 2 (1999) 1496-1504.
75. Kalra, S. ve Chong, M. N., Bidirectional Motion Estimation via Vector Propagation, IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., 8, 8 (1998) 976-987.
76. Alparone, L., Barni, M., Bartolini, F. ve Cappellini, V., Adaptively Weighted Vector-Median Filters for Motion-Fields Smoothing, Proceedings 1996 International Conference on Acoustic Speech and Signal Processing ICASSP'96, Atlanta, Georgia, USA, Mayıs, 1996.
77. Chen, M. J., Chen, L.G. ve Weng, R., Error Concealment of Lost Motion Vectors with Overlapped Motion Compensation, IEEE Trans. On Circuits and Systems for Video Technology, 7, 3 (1997).
78. Lam, W., Reibman, A. R. ve Liu, B., Recovery of Lost or Erroneously Reveived motion Vectors, Proc. Of ICASSP 1993, 5 (1993) 417-420.
79. Van Roosmalen, P. M. B., Restoration of Archived Film and Video, Doktora Tezi, Delft University of Technology, 1999.
80. Kimia, B. B., Frankel, I. ve Popescu, A.-M. Euler Spiral for Shape Completion, IJCV, 54 (2003) 159-182.
81. Masnou, S. ve Morel, J.-M., On a Variational Theory of Image Amodel Completion, Preprints of the Laboratoire Jacques-Louis, Lions, 2005.
82. Sun, J., Yuan, L., Jia, J. ve Shum., H.-Y., Image Completion with Structure Propagation, SIGGRAPH 2005, 24 (2005) 861-868.

83. Kwatra, V., Schödl, A. Essa, I., Turk, G. ve Bobick, A., Graphcut Textures: Image and Video Synthesis Using Graphcut, ACM Transactions on Graphics, SIGGRAPH 2003, 22, 3 (2003) 277-286.

## 6. EKLER

### Ek 1. Hareket Kestirimde MMX Emir Takımı Kullanımı

Aşağıda geliştirilen yöntemde kullanılan 4 x 4 imge bloğu için iki blok arasındaki mutlak değer farklarının toplamını veren C++ programlama dilinde ve MMX emir takımıyla yazılmış program kod parçaları örnek olarak verilmiştir.

C++ programlama dilinde yazılmış kod parçası:

```
unsigned int
ToplamMutlakFark4x4(const unsigned char *s,
                    const unsigned char *d,
                    const unsigned int spitch,
                    const unsigned int dpitch)
{
    unsigned int toplam = 0;
    int smodul = spitch - 4;
    int dmodul = dpitch - 4;
    int i = 0, j;

    do
    {
        j=0;

        do
        {
            toplam += abs((*s) - (*d));
            s++;
            d++;

        } while( ++j < 4 );

        s += smodul;
        d += dmodul;

    } while( ++i < 4 );

    return toplam;
}
```

Ek 1'in devamı

MMX emir takımıyla yazılmış kod parçası:

ToplamMutlakFark4x4:

```

push    ebx

pxor    mm0, mm0        ; mm0 = 0
pxor    mm1, mm1        ; mm1 = 0

mov     eax, [esp+4+ 4]  ; Yürürlükteki çerçeve
mov     ebx, [esp+4+ 8]  ; Referans çerçeve
mov     ecx, [esp+4+12] ; YürürlüktekiÇerSatırUzunluğu(Pitch)
mov     edx, [esp+4+16] ; ReferansÇerSatırUzunluğu(Pitch)

pxor    mm2, mm2        ; mm2=0
pxor    mm3, mm3        ; mm3=0

push    esi
push    edi

lea     esi, [ecx+2*ecx] ; 3*YürPitch
lea     edi, [edx+2*edx] ; 3*RefPitch

movd    mm0, [eax]      ; 1
movd    mm2, [ebx]
movd    mm1, [eax+ecx]  ; 2
movd    mm3, [ebx+edx]

pxor    mm4, mm4
pxor    mm5, mm5
pxor    mm6, mm6
pxor    mm7, mm7

; Mutlak farklar
psadbw mm0, mm2        ; 1
psadbw mm1, mm3        ; 2

movd    mm4, [eax+2*ecx] ; 3
movd    mm5, [ebx+2*edx]
movd    mm6, [eax+esi]  ; 4
movd    mm7, [ebx+edi]

psadbw mm4, mm5        ; 3
psadbw mm6, mm7        ; 4

padd    mm0, mm1
padd    mm4, mm6

```

Ek 1'in devamı

```
pop    edi
pop    esi
pop    ebx

padd   mm0, mm4
movd   eax, mm0           ; eax = 4x4 bloklar için toplam mutlak fark

ret
```

MMX emir takımı kullanılarak yazılan programda aynı anda paralel olarak 64 bitlik veri işlendiğinden işlemler çok daha hızlı yapılmaktadır. Yukarıdaki örnek kod parçasında ise aynı anda 32 bitlik veri işlenmektedir.



## ÖZGEÇMİŞ

**Bekir DİZDAROĞLU**, 14.05.1971 tarihinde Giresun'da doğdu. İlkokulu, ortaokulu ve liseyi Giresun'da okudu. 1990 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans eğitime başladı. 1994 yılında bu bölümden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak 1998 yılında Elektrik Yüksek Mühendisi unvanını aldı. Aynı yıl Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde doktora eğitime başladı. 1995 yılından beri KTÜ Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu Teknik Programlar Bölümü Bilgisayar Teknolojisi ve Programlama (Bilgisayar Programcılığı) Programında Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dil olarak İngilizce, Arapça ve Almanca bilmektedir.